ISSN 1810-1909

ВестниК
ЧУВАШСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 2013

Естественные и технические науки

Научный журнал

Основан в марте 1995 г.

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Главный редактор
В.Г. Агаков, кандидат физико-математических наук, профессор

Заместитель главного редактора
В.В. Афанасьев, доктор технических наук, профессор

Члены редакционной коллегии
А.А. Афанасьев, доктор технических наук, профессор
Г.А. Белов, доктор технических наук, профессор
А.В. Булычёв, доктор технических наук, профессор
А.В. Голенков, доктор медицинских наук, профессор
Ю.К. Евдокимов, доктор технических наук, профессор
Н.И. Кольцов, доктор химических наук, профессор
Д.С. Марков, доктор медицинских наук, профессор
Н.Д. Морозкин, доктор физико-математических наук, профессор
А.А. Потапов, доктор физико-математических наук, профессор

Ответственный секретарь
Н.И. Завгородняя

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Адрес редакции: 428015, Чебоксары, Московский пр., 15,
тел. (8352) 45-20-96, 58-33-63 (доб. 2030)
e-mail: vestnik@chuvsu.ru
http://www.chuvsu.ru/university/vestnik.htm

© Вестник Чувашского университета, 2013

УДК 539.375
ББК 22.251

Ю.О. ВАСИЛЬЕВА, Е.В. МОЧАЛОВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ЖЕСТКОЙ НАКЛАДКОЙ НА БЕРЕГУ МЕЖФАЗНОЙ ТРЕЩИНЫ В СЛУЧАЕ ДЕЙСТВИЯ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ*

Ключевые слова: *трещина, жесткая накладка, сосредоточенная сила, гипергеометрическая функция, коэффициенты интенсивности напряжений.*

Изучено плоское напряженное состояние кусочно-однородного упругого тела, ослабленного полубесконечной трещиной на линии раздела сред, в случае действия сосредоточенной силы. Верхний берег трещины частично подкреплен полубесконечной жесткой накладкой. Найдены комплексные потенциалы, коэффициенты интенсивности напряжений в вершине трещины и на конце накладки. Приведены их графики.

Yu.O. VASILYEVA, E.V. MOCHALOV

THE STRESS DISTRIBUTION UNDER A SEMI-INFINITE RIGID PATCH PLATE ON AN EDGE OF AN INTERFACE CRACK IN THE CASE OF A CONCENTRATED FORCE ACTING

Key words: *crack, rigid patch plate, concentrated force, hypergeometric function, stress intensity factors.*

Plane stress state of a piecewise-homogeneous elastic body weakened by a semi-infinite interface crack, in the case of a concentrated force acting, is investigated. The upper edge of the crack is partially reinforced by a semi-infinite rigid patch plate. The complex potentials, the stress intensity factors at the crack tip and the end of the patch plate are found. Corresponding plots are presented.

Рассмотрим кусочно-однородное упругое изотропное тело, составленное из разных по упругим свойствам верхней и нижней полуплоскостей. На линии раздела сред вдоль луча $[0,+\infty)$ расположена полубесконечная открытая трещина, верхний берег которой на участке $[l,+\infty)$ подкреплен абсолютно жесткой прямолинейной накладкой бесконечной длины, присоединенной к телу без натяга. Остальная часть верхнего берега и весь нижний берег трещины свободны от напряжений. Считаем, что накладка принудительно удерживается в горизонтальном положении и не поворачивается. Тогда краевые условия задачи имеют вид:

$$\begin{aligned} &u^+(x)+i\upsilon^+(x)=0,\ x\in(l,+\infty),\\ &\tau_{xy}^+(x)+i\sigma_y^+(x)=0,\ x\in(0,l),\\ &\tau_{xy}^-(x)+i\sigma_y^-(x)=0,\ x\in(0,+\infty), \end{aligned} \qquad (1)$$

где $u+i\upsilon$ – вектор смещений; $\tau_{xy}+i\sigma_y$ – вектор напряжений, верхними индексами плюс и минус помечены значения функций на верхнем и нижнем берегах трещины. Вдоль луча $(-\infty, 0]$ полуплоскости жестко соединены друг с другом, и к точке $x=x_0$ ($x_0<0$) приложена сосредоточенная сила $X+iY$. На накладку никакие внешние силы не действуют. На бесконечности напряжения исчезают, причем так, что

$$\sigma_y-i\tau_{xy}\sim\frac{K_I^\infty-iK_{II}^\infty}{\sqrt{2\pi}\,z^{\gamma_1-i\delta_1}}+\frac{K_{III}^\infty-iK_{IV}^\infty}{\sqrt{2\pi}\,z^{\gamma_2-i\delta_2}},\quad z\to\infty$$

* Исследование выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 12-01-31387, 13-01-00003).

$$\gamma_i = \frac{\arg \eta_i}{2\pi}, \quad \delta_i = \frac{\ln|\eta_i|}{2\pi}, \quad i = 1, 2,$$

$$\eta_1 = \frac{1}{2}\left(-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \frac{4m}{\kappa_1}}\right), \quad \eta_2 = \frac{1}{2}\left(-\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \frac{4m}{\kappa_1}}\right),$$

$$\alpha = \frac{(\kappa_1 + \kappa_2) - 2\mu_*\kappa_1}{\kappa_1(\mu_* + \kappa_2)}, \quad m = \frac{1 + \mu_*\kappa_1}{\mu_* + \kappa_2}, \quad \mu_* = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

$$(0 < \arg\eta_1 \le \pi,\ \pi \le \arg\eta_2 < 2\pi,\ \operatorname{Im}\eta_1 \ge 0,\ \operatorname{Im}\eta_2 \le 0),$$

где $K_I^\infty, K_{II}^\infty, K_{III}^\infty, K_{IV}^\infty$ – заданные действительные постоянные, κ_1, μ_1 и κ_2, μ_2 – упругие параметры верхней и нижней полуплоскостей, соответственно.

Требуется найти комплексные потенциалы, описывающие плоское напряженное состояние тела, и исследовать поведение напряжений вблизи вершины трещины и на конце накладки.

С помощью формул Колосова–Мусхелишвили для кусочно-однородной плоскости [3] задача (1) сводится к однородной матричной краевой задаче Римана для двух кусочно-голоморфных функций (комплексных потенциалов) $\Phi(z)$, $\Omega(z)$ с линией разрыва $[0, +\infty)$:

$$\begin{pmatrix}\Phi^+(x)\\ \Omega^+(x)\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0 & -1\\ -m & 1-m\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Phi^-(x)\\ \Omega^-(x)\end{pmatrix}, \quad x \in (0, l),$$
$$\begin{pmatrix}\Phi^+(x)\\ \Omega^+(x)\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0 & \kappa_1^{-1}\\ -m & -\alpha\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Phi^-(x)\\ \Omega^-(x)\end{pmatrix}, \quad x \in (l, +\infty), \tag{2}$$

Комплексные потенциалы $\Phi(z)$, $\Omega(z)$ в точке $z = x_0$ имеют простые полюсы с вычетами $P_1 = -\dfrac{X + iY}{2\pi(1 + \mu_*\kappa_1)}$ и $P_2 = \dfrac{\kappa_2(X + iY)}{2\pi(\mu_* + \kappa_2)}$ соответственно [1], а в точках $z = 0$ и $z = l \pm i0$ могут иметь особенности интегрируемого порядка. На бесконечности функции $\Phi(z)$, $\Omega(z)$ исчезают.

Решение задачи (2) находится явно с помощью гипергеометрической функции Гаусса [2] и имеет вид

$$\begin{aligned}\Phi(z) &= \left(A_1 + C_2(\zeta - t_0)^{-1}\right)\chi_{11}(\zeta) + \left(A_2 + C_1(\zeta - t_0)^{-1}\right)\chi_{12}(\zeta)\\ \Omega(z) &= \left(A_1 + C_2(\zeta - t_0)^{-1}\right)\chi_{21}(\zeta) + \left(A_2 + C_1(\zeta - t_0)^{-1}\right)\chi_{22}(\zeta)\end{aligned} \tag{3}$$

$$\zeta = \frac{z}{l}, \quad t_0 = \frac{x_0}{l}, \quad C_j = (-1)^j\,\frac{P_1\chi_{2j}(t_0) - P_2\chi_{1j}(t_0)}{l\det\mathbf{X}^+(t_0)}, \quad j = 1, 2,$$

$$A_1 = \frac{K_{III}^\infty - iK_{IV}^\infty}{\sqrt{2\pi}\,(m + \eta_1)c_6 l^{\gamma_2 - i\delta_2}} - \frac{b(b + 1 - c)A_2}{b + 1 - a}, \quad A_2 = \frac{K_I^\infty - iK_{II}^\infty}{\sqrt{2\pi}\,(m + \eta_2)c_5(a - b)l^{\gamma_1 - i\delta_1}}$$

$$c_5 = \frac{c_1 e^{i\pi a}\Gamma(c)\Gamma(b - a)}{\eta_2\Gamma(c - a)\Gamma(b)} + \frac{c_2 e^{i\pi(a + 1 - c)}\Gamma(2 - c)\Gamma(b - a)}{\eta_2\Gamma(1 - a)\Gamma(b + 1 - c)},$$

$$c_6 = \frac{c_1 e^{i\pi b}\Gamma(c)\Gamma(a - b)}{\eta_1\Gamma(a)\Gamma(c - b)} + \frac{c_2 e^{i\pi(b + 1 - c)}\Gamma(2 - c)\Gamma(a - b)}{\eta_1\Gamma(a + 1 - c)\Gamma(1 - b)}$$

$$c_1 = \frac{(\eta_1\kappa_1 - m)e^{-i\pi c}\,\Gamma(2 - c)}{\Gamma(1 - a)\Gamma(1 + b - c)}, \quad c_2 = \frac{(1 + \eta_1\kappa_1)\Gamma(c)}{\Gamma(b)\Gamma(c - a)}$$

$$a = 1 + \frac{\ln\eta_1}{2\pi i}, \quad b = \frac{\ln\eta_2}{2\pi i}, \quad c = \frac{3}{2} + \frac{\ln m}{2\pi i},$$

где $\mathbf{\Gamma}(\zeta)$ – гамма-функция Эйлера; $\chi_{ij}(\zeta)$ – элементы канонической матрицы $\mathbf{X}(\zeta)$ задачи (2):

$$\mathbf{X}(\zeta)=\begin{pmatrix} c_1 & c_2 \\ -c_1 & mc_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} F(a,b;c;\zeta) \\ \zeta^{1-c}F(a-c+1,b-c+1;2-c;\zeta) \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} b(1-\zeta)F(a,b+1;c;\zeta) \\ (b-c+1)\zeta^{1-c}(1-\zeta)F(a-c+1,b-c+2;2-c;\zeta) \end{pmatrix},$$
$$|\zeta|<1,\ \zeta\notin[0,1]$$

$$\mathbf{X}(\zeta)=\mathbf{F}^{\pm}\begin{pmatrix} F(a,b;a+b+1-c;1-\zeta) \\ (\zeta-1)^{c-a-b}F(c-a,c-b;c+1-a-b;1-\zeta) \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \dfrac{b(b+1-c)}{a+b+1-c}(1-\zeta)F(a,b+1;a+b+2-c;1-\zeta) \\ (a+b-c)(\zeta-1)^{c-a-b}F(c-a,c-b-1;c-a-b;1-\zeta) \end{pmatrix}, \qquad (4)$$
$$|\zeta-1|<1,\ \mathrm{Im}(\pm\zeta)>0$$

$$\mathbf{X}(\zeta)=\begin{pmatrix} \eta_2 c_5 & \eta_1 c_6 \\ mc_5 & mc_6 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \zeta^{-a}F(a,a+1-c;a+1-b;\zeta^{-1}) \\ \zeta^{-b}F(b,b+1-c;b+1-a;\zeta^{-1}) \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} (b-a)\zeta^{-a}(1-\zeta)F(a,a+1-c;a-b;\zeta^{-1}) \\ \dfrac{b(b+1-c)}{a-1-b}\zeta^{-b-1}(1-\zeta)F(b+1,b+2-c;b+2-a;\zeta^{-1}) \end{pmatrix},$$
$$|\zeta|>1,\ \mathrm{Im}(\pm\zeta)>0$$

$$\mathbf{F}^{+}=\begin{pmatrix} 0 & c_4 \\ c_3 & (m-r)c_4 \end{pmatrix},\quad \mathbf{F}^{-}=\begin{pmatrix} -m^{-1}c_3 & m^{-1}(r-1)c_4 \\ 0 & -c_4 \end{pmatrix}$$

$$r=\frac{1+\kappa_2}{\mu_*+\kappa_2},\quad c_3=-\frac{c_1\Gamma(c)\Gamma(c-a-b)}{\Gamma(c-a)\Gamma(c-b)}+\frac{mc_2\Gamma(2-c)\Gamma(c-a-b)}{\Gamma(1-a)\Gamma(1-b)},$$

$$c_4=\frac{c_1 e^{i\pi(a+b-c)}\Gamma(c)\Gamma(a+b-c)}{\Gamma(a)\Gamma(b)}+\frac{c_2 e^{i\pi(a+b-c)}\Gamma(2-c)\Gamma(a+b-c)}{\Gamma(a+1-c)\Gamma(b+1-c)}.$$

Здесь $F(a; b; c; \zeta)$ – гипергеометрическая функция Гаусса, а у многозначных функций ζ^p и $(\zeta-1)^q$ берутся ветви, однозначные в плоскости с разрезами $[0, +\infty)$ и $[1, +\infty)$, соответственно, определяемые условиями $0<\arg\zeta<2\pi$ и $0<\arg(\zeta-1)<2\pi$.

На основании полученных формул (3), (4) и известных формул Колосова–Мусхелишвили для кусочно-однородной плоскости вблизи точки $z=0$ на действительной отрицательной полуоси получим следующую асимптотику для напряжений

$$\sigma_y(x)-i\tau_{xy}(x)=\frac{K_I-iK_{II}}{\sqrt{2\pi}|x|^{1/2-i\beta}}+O(1),\quad x\to 0-0$$

$$K_I-iK_{II}=-\sqrt{2\pi}\left(\sqrt{m}\right)^{-1}(1+m)c_2\left[A_1-C_2t_0^{-1}+(b-c+1)\left(A_2-C_1t_0^{-1}\right)\right]l^{1/2-i\beta},\quad \beta=\frac{\ln m}{2\pi}.$$

Таким образом, напряжения имеют степенно-осциллирующую особенность порядка $-1/2+i\beta$ в вершине трещины, и их интенсивность характеризуется двумя действительными коэффициентами K_I, K_{II}. На рис. 1 изображены графики зависимости коэффициентов K_I, K_{II} от расстояния d между вершиной трещины $z=0$ и точкой приложения сосредоточенной силы $z=x_0$ и от направления ϕ силы. В первом случае сила $X+iY=-P$ $(P>0)$ постоянна и направлена вдоль действительной отрицательной полуоси, во втором случае сила $X+iY=P(\cos\phi+i\sin\phi)$ составляет угол ϕ с осью x, $x_0=-0{,}2$. В обоих случаях принято $\kappa_1=1{,}8$, $\kappa_2=2{,}2$, $\mu_*=2$, $l=1$, $K_I^{\infty}=K_{II}^{\infty}=K_{III}^{\infty}=K_{IV}^{\infty}=0$.

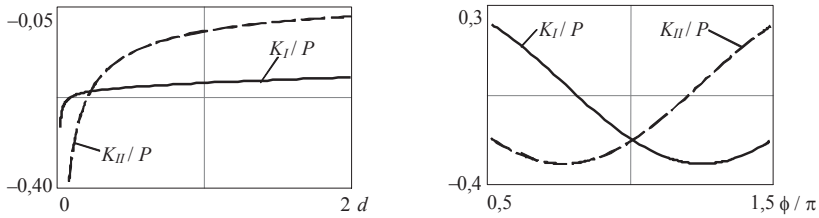


Рис. 1. Графики зависимости коэффициентов интенсивности напряжений вблизи вершины трещины от расстояния между вершиной трещины и точкой приложения сосредоточенной силы, а также от ее направления

Поведение напряжений вблизи точки $z = l + i0$ полностью определяется поведением функции $\Phi(z)$, которая вблизи этой точки имеет вид

$$\Phi(z) = \frac{N_I - iN_{II}}{\sqrt{\pi}(z-l)^{1/2+i\beta_1}} + O(1), \quad z \to l + i0,$$

$$N_I - iN_{II} = \sqrt{\pi} c_4 \left[A_1 + C_2(1-t_0)^{-1} + (1/2 + i\beta_1)\left(A_2 + C_1(1-t_0)^{-1}\right)\right](1-t_0)^{1/2+i\beta_1}, \quad \beta_1 = \frac{\ln \kappa_1}{2\pi}.$$

Коэффициенты N_I, N_{II} назовем коэффициентами интенсивности напряжений вблизи точки $z = l + i0$. Графики их зависимости от расстояния d и от направления ϕ силы представлены на рис. 2 в условиях рис. 1.

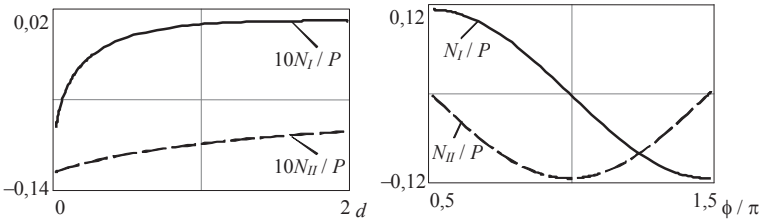


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов интенсивности напряжений вблизи конца накладки от расстояния между вершиной трещины и точкой приложения сосредоточенной силы, а также от ее направления

Вблизи точки $z = l - i0$ на нижнем берегу трещины комплексные потенциалы, а значит, и напряжения ограничены.

Литература

1. *Сильвестров В.В.* Метод римановых поверхностей в задаче о межфазных трещинах и включениях при наличии сосредоточенных сил // Известия вузов. Математика. 2004. № 7. С. 78-91.

2. *Хвощинская Л.А.* К проблеме Римана в случае произвольного числа особых точек // Краевые задачи, специальные функции и дробное исчисление: труды Междунар. конф. Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1996. С. 377-382.

3. *Черепанов Г.П.* Механика разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1983. 296 с.

ВАСИЛЬЕВА ЮЛИЯ ОЛЕГОВНА – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры актуарной и финансовой математики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vasilyeva.yu@gmail.com).

VASILYEVA YULIYA OLEGOVNA – candidate of physical and mathematical sciences, senior lecturer of Actuarial and Financial Mathematics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МОЧАЛОВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – младший научный сотрудник, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

MOCHALOV EVGENIY VLADIMIROVICH – junior researcher, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 519.63
ББК 22.311

А.Ю. ГИЛЁВ, Н.Д. МОРОЗКИН, В.В. ЧУДИНОВ

О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ПОДАЧИ НАГРЕТОЙ ВОДЫ НА ПРОЦЕСС РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА

Ключевые слова: *добыча метана, разложение гидрата метана, задача Стефана, расщепление по физическим переменным, метод конечных объёмов.*

Исследован процесс разложения гидрата метана потоком нагретой воды. Рассмотрена двумерная осесимметричная задача. Для расчётов использован метод конечных объёмов. Применялась расчётная сетка, состоящая из ячеек Вороного. Получены зависимости эффективности процесса разложения и формы шахты от времени и начальных условий задачи.

A.Yu. GILEV, N.D. MOROZKIN, V.V. CHUDINOV

ON AN INFLUENCE OF A VELOCITY OF SUPPLY OF HEATED WATER ON A PROCESS OF A DECOMPSITION OF A METHANE HYDRATE

Key words: *methane production, decomposition of methane hydrate, the Stefan problem, the splitting of the physical variables, finite volume method.*

The decomposition process of methane hydrate by heated water flow is explored. Two-dimensional axisymmetric problem is considered. The finite volume method is used for calculations. A computational grid consists of the Voronoi cells is used. The dependences of the decomposition process efficiency and the mine shape from time and the initial conditions of the problem are obtained.

Одним из перспективных источников природного газа являются залежи гидрата метана. Подавляющее большинство запасов гидрата метана (до 98%) приходится на мировой океан. Количество газа, содержащееся в них, оценивается величиной $2\cdot10^{14}$–10^{15} м^3 [8]. Гидрат метана представляет собой кристаллическое соединение – клатрат, построенный на основе каркаса из молекул воды, в полости которого внедрены в качестве молекул-гостей молекулы метана [1]. На разложение гидрата необходимо потратить от 6% до 12% энергии, содержащейся в гидратированном газе [3].

Основная идея одного из методов разложения гидрата и добычи газа состоит в подаче нагретой воды непосредственно к залежам гидрата. Гидрат стабилен только в определённом диапазоне давлений и температур, и при повышении температуры выше критической величины начинает разлагаться на воду и метан.

В работе рассмотрена численная модель такого способа добычи метана.

1. Постановка задачи. В газогидратном слое бурится вертикальная шахта, размеры которой позволяют поместить систему из двух соосных труб. На трубах располагается опоясывающее трубу отверстие. Через внутреннюю трубу подаётся нагретая вода, а через внешнюю – отводятся метан и остывшая вода.

В постановку задачи введены следующие упрощающие предположения: 1) гидрат метана не содержит каких-либо примесей; 2) осадочные породы, находящиеся выше залежей гидрата метана, считаются твёрдыми и неподвижными; 3) метан, образовавшийся при разложении гидрата, на течение и термодинамические характеристики воды не влияет; 4) рассматривается осесимметричный случай (рис. 1); 5) Форма границы раздела «вода–гидрат» описывается некоторой функциональной зависимостью от координаты z: $r = \xi(z)$.

Расчётная область представлена на рис. 1.

При расчётах задаются следующие геометрические величины: z_0 – нижний край входного отверстия s_{in}; h_{in} – ширина входного отверстия s_{in}, $h_{in} = z_1 - z_0$; H – высота расчётной области; R_0 – радиус подающей трубы; R_1 – начальный радиус шахты, заполненной водой; $R_{\max}$ – радиус расчётной области. Края отводящего отверстия s_{out} совпадают с радиусами R_0 и R_1, ширина этого отверстия $h_{out} = R_1 - R_0$.

Для описания течения воды используется модель вязкой несжимаемой жидкости в приближении Буссинеска, а для передачи тепла – уравнение теплопроводности, основанное на законе Фурье:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}+\nu\left(\nabla^2 v_r-\frac{v_r}{r^2}\right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\nabla^2 v_z+(1-\rho/\rho_0)g, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (rv_r)}{\partial r}+\frac{\partial (rv_z)}{\partial z}=0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+v_r\frac{\partial T}{\partial r}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{\lambda}{\rho c}\nabla^2 T, \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\lambda_h}{\rho_h c_h}\nabla^2 T, \quad (5)$$

где v_r и v_z – компоненты вектора скорости воды; p – давление воды; ν – кинематическая вязкость воды; T – температура среды; ρ, λ и c – плотность, коэффициент теплопроводности и удельная теплоёмкость воды, соответственно; ρ_h, λ_h и c_h – плотность, коэффициент теплопроводности и удельная теплоёмкость гидрата, соответственно; ρ_0 – плотность воды при температуре, заданной на дне океана; g – ускорение свободного падения; $\rho=\rho(T)$ – плотность воды, для её вычисления используется приближённая формула (температура задана в градусах Цельсия):

$$\rho(T)=\frac{995{,}7}{0{,}984+0{,}483\cdot 10^{-3}\cdot T}\ (\text{кг/м}^3).$$

Величины ν, ρ, λ, c, ρ_h, λ_h, c_h, ρ_0 и g считаются постоянными.

Уравнения (1) и (2) – уравнения Навье–Стокса; (3) – уравнение несжимаемости жидкости; уравнение (4) описывает теплоперенос в воде посредством конвекции и теплопроводности; уравнение (5) описывает теплоперенос в гидрате.

На входных и выходных отверстиях задаётся нормальный к сечению отверстия стационарный поток воды. Градиент давления направлен вдоль потока.



Рис. 1. Расчётная область:
AD – поверхность трубы, подающей горячую воду;
ξ – кривая, образующая поверхность раздела сред воды и гидрата;
CF – удалённая граница; DF – поверхность грунта;
AC – граница осадочных пород, не содержащих гидрата;
s_{in} – входное отверстие; s_{out} – выходное отверстие.

На входном отверстии s_{in}

$$v_0=\text{const}. \quad (6)$$

Для входного отверстия градиент давления рассчитывается из решения задачи о стационарном и ламинарном течении жидкости между двумя параллельными плоскостями

$$\frac{\partial p}{\partial r}=24\pi\mu R_0 h_{in} v, \quad (7)$$

где величина $\mu=\rho\nu$ – динамическая вязкость жидкости; v – скорость жидкости.

В горловине шахты на выходном отверстии s_{out} скорость вычисляется из решения задачи о ламинарном течении жидкости между двумя соосными трубами. Градиент давления рассчитывается из условия несжимаемости жидкости и зависит от расхода жидкости Q через отверстие:

$$v = v(r) = \frac{1}{4\mu}\frac{\partial p}{\partial z}\left(r^2 + C_1 \ln r + C_2\right), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{4\mu Q}{\pi\left[0{,}5r^2 + C_1(\ln r - 0{,}5) + C_2\right]\Big|_{R_1}^{R_2}},$$
$$C_1 = -\frac{R_1^2 - R_0^2}{\ln(R_1/R_0)}, C_2 = -R_0^2 - C_1 \ln R_0, \tag{8}$$

где R_0 и R_1 – r-координаты краёв отверстия.

На поверхности трубы, грунта, осадочных пород и раздела «вода–гидрат» задаётся условие прилипания жидкости:

$$v = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n} = 0. \tag{9}$$

Границы области с грунтом и осадочными породами считаем теплоизолированными

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0. \tag{10}$$

На поверхности трубы, на удалённой границе, на грунте, на границе с осадочными породами начальную температуру воды в шахте и гидрата считаем одинаковой и фиксированной:

$$T_0 = \text{const}. \tag{11}$$

На границе «вода–гидрат» задаётся граничное условие 4-го рода, для случая изменения агрегатного состояния вещества (задача Стефана) имеют место равенство температур воды и гидрата и условие баланса тепловых потоков

$$T_w = T_h, \ \lambda\frac{\partial T_w}{\partial n} - \lambda_h \frac{\partial T_h}{\partial n} = \rho_h \mu_h v_\xi, \tag{12}$$

где T_w – температура воды; T_h – температура гидрата; v_ξ – скорость смещения границы «вода–гидрат»; μ_h – удельная теплота разложения гидрата.

Температура разложения гидрата определяется следующим выражением:

$$T_s = T_0 + T_* \ln\frac{p}{p_0},$$

где T_0, T_* и p_0 – константы; p – давление на глубине залегания гидратов. Для гидрата метана $T_0 = 10^\circ$ C; $T_* = 10^\circ$ C; $p_0 = 5.08\cdot10^6$ Па.

Необходимо решить задачу, описываемую уравнениями (1)-(5) и граничными и начальными условиями (6)-(12).

Задача: Исследовать эффективность процесса разложения гидрата и динамику формы шахты при различных скоростях подачи нагретой воды.

2. Решение задачи

2.1. Расчётная схема и сетка. Расчётная схема получена с помощью метода расщепления по физическим переменным и метода контрольного объёма [6, 9].

Была использована неоднородная расчётная сетка, состоящая из ячеек Вороного. Сетка получена из соответствующей триангуляции Делоне [7]. Шаг сетки уменьшается вблизи границ области, раздела сред и на входных и выходных отверстиях.

Граница раздела сред может изменяться достаточно быстро. Для предотвращения многократного и трудоёмкого построения сетки заново расчёт организован следующим образом [4]: 1) граница раздела всегда проходит через узлы сетки и перемещается скачкообразно по неизменной сетке; 2) сетка перестраивается не на каждом шаге, а только после значительного перемещения границы раздела. Величина критического перемещения границы может быть задана и обычно составляет несколько длин стороны ячеек вблизи границы раздела; 3) после перестройки сетки все физические величины пересчитываются со старой сетки на новую с использованием линейной интерполяции по ячейкам.

2.2. Аппроксимация задачи Стефана. Течение воды в рассматриваемой задаче характеризуется большими числами Рейнольдса (Re ~ 10^6). Поэтому вблизи границы шахты могут существовать большие градиенты компонент скорости и, следовательно, температуры. Для аппроксимации условий (12) на границе вода–гидрат стандартным способом [5] необходима очень частая сетка.

Чтобы избежать этого, был выбран следующий подход. На начальный момент каждого шага полагается, что температура на границе раздела вода–гидрат в направлении нормали к границе меняется скачкообразно ($T_w \neq T_h$).

В течение одного шага по времени τ происходит теплообмен, и скачок «сглаживается». Поскольку величина τ достаточно мала, теплообмен, обусловленный градиентом температуры на границе, затронет только соседние с границей ячейки. Таким образом, данную задачу сводим к одномерной задаче о теплообмене в системе двух полуограниченных и равномерно нагретых тел [2]. Откуда вычисляется поток тепла $j(t)$ сквозь единицу площади границы, в момент времени t

$$j(t) = \frac{\varepsilon\varepsilon_h}{\varepsilon + \varepsilon_h} \frac{T_w - T_h}{\sqrt{\pi t}},$$

где $\varepsilon = \sqrt{\rho\lambda c}$ и $\varepsilon_h = \sqrt{\rho_h \lambda_h c_h}$. Далее полагается, что за тот же шаг по времени вода в приграничных ячейках перемешивается, т.е. температура усредняется, и на начало следующего шага снова имеется скачёк температуры.

3. Численный эксперимент. Во всех экспериментах $R_0 = 10$ см, $R_{\max} = 9$ м, $R_1 = 20$ см, $z_0 = 0$, $\nu = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, $\lambda = 0{,}58$ Вт/(м·К), $c = 4200$ Дж/(кг·К), $\rho_h = 900$ кг/м^3, $\lambda_h = 2{,}11$ Вт/(м·К), $c_h = 2500$ Дж/(кг·К), $g = 9{,}81$ м/с^2, $H = 5$ м.

Расход воды постоянен и равен $3{,}142 \cdot 10^{-3}$ м^3/с. При этом варьируются скорость входящего потока v_{in} и ширина входного отверстия h_{in}, (таблица).

№	h_{in}, см	v_{in}, м/с
1	50	0,01
2	40	0,0125
3	33,3	0,015
4	28,57	0,0175
5	25	0,02
6	20	0,025
7	16,67	0,03
8	14,29	0,035
9	12,5	0,04
10	10	0,05

Скорость входного потока во всех экспериментах достаточно малая. Поэтому основным фактором, влияющим на движение воды, оказывается неуравновешенная сила Архимеда, действующая на нагретую воду.

Вода, только что поступившая в шахту, поднимается вверх, и скорость этого конвекционного потока, как показывает эксперимент, увеличивается на расстоянии порядка метра до максимальной величины.

Часть разогнанного потока воды, близкая к подающей трубе, выходит через выходное отверстие, а оставшаяся часть продолжает движение к верхней границе области (границе с осадочными породами) и стенкам шахты. Нагретая вода оказывается в непосредственной близости от границы гидрата. Большой перепад температуры приводит к интенсивному нагреву и последующему разложению гидрата. Остывающая вода опускается ко дну шахты и вливается в нагретый восходящий поток. Поскольку к нижней части стенок шахты приходит более холодная вода, теплообмен происходит медленнее и шахта приобретает форму воронки.

Для оценки формы шахты вычислялась величина $e = r_u/r_d$, где r_u и r_d – средние радиусы, соответственно, в верхней и нижней части шахты.

Рис. 2 показывает, что при увеличении скорости входного потока величина e уменьшается, т.е. расширение верхней части шахты, по сравнению с нижней, происходит медленнее.

На начальном этапе запуска процесса, когда нагретая вода ещё не успела подняться, а шахта достаточно узкая, разложение гидрата происходит преимущественно в нижней части шахты. И только через некоторое время нагретая вода уходит на самый верх, а шахта принимает форму воронки. Такая ситуация соответствует периоду времени, в течение которого функция $e(t) < 1$ (рис. 2).

В качестве эффективности процесса разложения гидрата $\eta(t)$ использовалось отношение тепла, переданного гидрату, к поступившему с потоком нагретой воды за период времени t от начала процесса.

На начальном этапе процесса эффективность низкая, это объясняется тем, что поступившая вода ещё не успела передать тепло гидрату.

Через несколько часов после начала процесса достигается максимум эффективности (рис. 3). В дальнейшем она падает со скоростью около 0,10-0,12% в час. Такое падение объясняется тем, что для продолжения процесса разложения гидрата необ-

ходимо поддерживать температуру воды в шахте, объём которой постоянно увеличивается, выше температуры разложения гидрата. То есть всё возрастающая часть энергии уходит на прогрев воды в шахте.

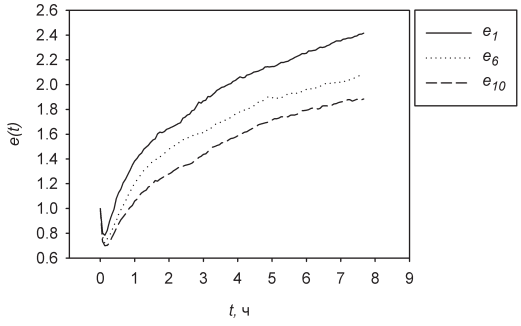


Рис. 2. Функция $e(t)$, эксперименты № 1, № 6 и № 10

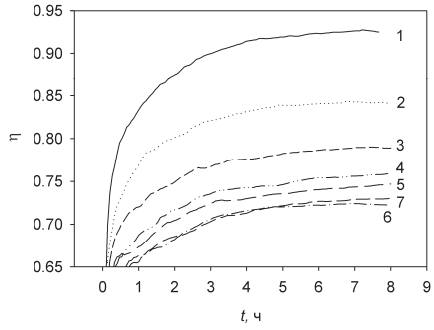


Рис. 3. Эффективность нагрева гидрата, эксперименты № 1-7

Оказалось, что эффективность процесса разложения гидрата падает, пока скорость подачи нагретой воды не достигнет величины $v_{in} \approx 0{,}025$ м/с. Далее с увеличением скорости наблюдается увеличение эффективности (рис. 4).

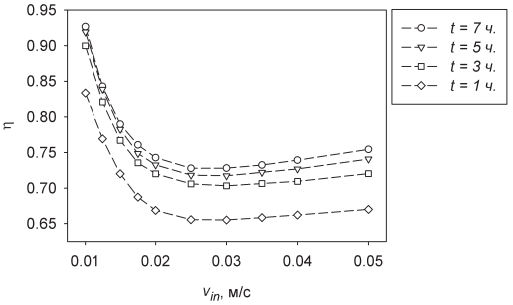


Рис. 4. Эффективность нагрева гидрата, эксперименты № 1-10, при t = 1, 3, 5 и 7 ч

Выводы. Таким образом, проведённые исследования показали, что при большей скорости входного потока шахта приобретает форму воронки медленнее.

Зависимость эффективности разложения гидрата от скорости входного потока $\eta(v_{in})$ имеет минимум внутри рассмотренного диапазона скоростей при $v_{in} \approx 0{,}025$ м/с.

Литература

1. Динамические, термодинамические и механические свойства газовых гидратов структуры I и II / *Т.М. Инербаев, О.С. Субботин, В.Р. Белослудов и др.* // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVII, № 3. С. 19-27.

2. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967. 600 с.

3. *Макогон Ю.Ф.* Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVII, № 3. С. 70-79.

4. *Морозкин Г.Д., Гилёв А.Ю.* Построении адаптивных сеток на основе триангуляции Делоне для метода конечных элементов // Вестник БашГУ. 2005. № 2. С. 7-11.

5. *Самарский А.А., Вабищевич П.Н.* Вычислительная теплопередача. М: Едиториал УРСС, 2003. 785 с.

6. *Патанкар С.В.* Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 312 с.

7. *Скворцов А.В.* С 42 Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.

8. *Соловьёв В.А.* Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVII, № 3. С. 59-69.

9. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991. Т. 1. 504 с.

ГИЛЁВ АНТОН ЮРЬЕВИЧ – ассистент кафедры информатики и информационных технологий в образовании, Бирский филиал Башкирского государственного университета, Россия, Бирск (gilevay@gmail.com).

GILEV ANTON YURYEVICH – assistant of Chair of Computer Science and Information Technologies in Education, Birsk Branch of Bashkir State University, Russia, Birsk.

МОРОЗКИН НИКОЛАЙ ДАНИЛОВИЧ – доктор физико-математических наук, ректор, Башкирский государственный университет, Россия, Уфа (morozkin@bashedu.ru).

MOROZKIN NIKOLAY DANILOVICH – doctor of physical and mathematical sciences, rector, Bashkir State University, Russia, Ufa.

ЧУДИНОВ ВАЛЕРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического анализа и прикладной математики, Бирский филиал Башкирского государственного университета, Россия, Бирск (chudinovvv@rambler.ru).

CHUDINOV VALERIY VALENTINOVICH – candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor of Mathematical Analysis and Applied Mathematics Chair, Birsk Branch of Bashkir State University, Russia, Birsk.

УДК 517.95
ББК 22.161.6

А.О. КАЗАКОВА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИИ К РЕШЕНИЮ ОСНОВНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Ключевые слова: *оператор Лапласа, полигармоническое уравнение, краевая задача, односвязная область, конформное отображение, ряд Тейлора, метод коллокации, система линейных алгебраических уравнений.*

Решена основная краевая задача для полигармонического уравнения в односвязной области. Для аналитического решения используется конформное отображение внутренности области на единичный круг. Искомая n-гармоническая функция представляется через n аналитических функций комплексного переменного, каждая из которых отыскивается в единичном круге в виде ряда Тейлора. Для вычисления коэффициентов ряда предложен численный метод коллокации. Рассмотрены примеры, дано сравнение результатов численного расчёта и аналитических данных.

A.O. KAZAKOVA

THE APPLICATION OF THE COLLOCATION METHOD TO A SOLUTION OF THE BASIC BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE POLYHARMONIC EQUATION

Key words: *Laplacian, polyharmonic equation, boundary value problem, simply connected domain, conformal map, Taylor series, collocation method, system of linear algebraic equations.*

The basic boundary value problem for the polyharmonic equation in a simply connected domain has been solved. The conformal map of the domain's interior to the unit disk is used to the analytic solution. The required n-harmonic function is represented by n analytic functions of complex variable every of which is found as Taylor series in the unit disk. The numerical collocation method for the calculation of series coefficients has been suggested. The examples have been considered and the numerical results and analytic data have been compared.

Наиболее подробно эллиптические уравнения высших порядков рассмотрены И.Н. Векуа с использованием аппарата теории аналитических функций. Применение теории функций комплексного переменного к решению бигармонических уравнений в двумерных задачах теории упругости рассмотрено ранее Г.В. Колосовым, Н.И. Мусхелишвили и др. Решение бигармонического уравнения с применением метода коллокации рассмотрено в работах А.Г. Терентьева (например, [5]) при исследовании движения цилиндра в ограниченной жидкости. Нами предлагается компьютерное моделирование численного решения полигармонического уравнения, полученного с использованием интегральной формулы Грина сведением к системе интегральных уравнений [3].

В настоящей работе основная краевая задача для полигармонической функции сведена к системе линейных алгебраических уравнений на границе области. Решение

этой системы численным методом коллокации даёт достаточно точные результаты, что подтверждается примером, представленным в данной работе.

§ 1. Постановка основной краевой задачи для полигармонического уравнения. Необходимо найти функцию $u(x, y)$, удовлетворяющую в односвязной области D полигармоническому уравнению $\Delta^n u = 0$, непрерывную вместе со своими производными до $(n-1)$-го порядка включительно в $\overline{D} = D \cup \partial D$ и удовлетворяющую на границе ∂D условиям:

$$u|_{\partial D} = g_0(s), \quad \left.\frac{\partial^k u}{\partial n^k}\right|_{\partial D} = g_k(s), \quad s \in \partial D, \quad \left(k = \overline{1, n-1}\right), \tag{1}$$

где $\dfrac{\partial}{\partial n}$ – производная по направлению внешней нормали к границе области. Здесь $\Delta = \dfrac{\partial^2}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2}{\partial y^2} = \dfrac{\partial^2}{\partial z \partial \bar{z}}$ $(z = x + iy, \quad \bar{z} = x - iy)$ – оператор Лапласа.

§ 2. Аналитическое решение. Непосредственным интегрированием полигармонического уравнения можно получить, что вещественная n-гармоническая функция u представима через n аналитических функций комплексного переменного:

$$u(z) = \operatorname{Re} \sum_{k=0}^{n-1} \bar{z}^k \varphi_k(z) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{n-1} \left[\bar{z}^k \varphi_k(z) + z^k \overline{\varphi_k(z)}\right]. \tag{2}$$

Этот же результат в несколько ином виде получен И.Н. Векуа.

Пусть D – односвязная область. Если конформно отобразить область D плоскости z на единичный круг плоскости ζ, то задача сведётся к нахождению n аналитических функций $\varphi_k(\zeta)$ $(k = \overline{0, n-1})$, которые можно представить в виде рядов Тейлора с комплексными коэффициентами:

$$\varphi_k(\zeta) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m^{(k)} \zeta^m \quad (k = \overline{0, n-1}) \,. \tag{3}$$

Обратная отображающая функция $z(\zeta)$ и её степени также представимы в виде степенных рядов:

$$z(\zeta) = \sum_{m=0}^{\infty} c_m \zeta^m, \quad \overline{z(\zeta)} = \sum_{m=-\infty}^{0} \frac{\overline{c_{-m}}}{|\zeta|^{2m}} \zeta^m, \quad z^k(\zeta) = \sum_{m=0}^{\infty} b_m^{(k)} \zeta^m, \quad \overline{z^k(\zeta)} = \sum_{m=-\infty}^{0} \frac{\overline{b_{-m}^{(k)}}}{|\zeta|^{2m}} \zeta^m, \tag{4}$$

где $b_0^{(k)} = c_0^k$, $b_m^{(k)} = \dfrac{1}{m c_0} \sum_{i=1}^{m} (ik - m + i) c_i b_{m-i}^{(k)}$ при $m \geq 1$.

Последнюю формулу можно найти, например, в [1. С. 17].

Подставив разложения (3) и (4) в (2), после некоторых преобразований получим:

$$u(\zeta) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} A_p \zeta^p, \quad A_p = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_{mp}^{(k)} \,. \tag{5}$$

Здесь

$$B_{mp}^{(k)} = \begin{cases} \dfrac{\overline{b_{-m}^{(k)}}}{|\zeta|^{2m}} a_{p-m}^{(k)}, & \begin{cases} m < 0; \\ m \leq p, \end{cases} \\ b_m^{(k)} |\zeta|^{2(m-p)} \overline{a_{m-p}^{(k)}}, & \begin{cases} m > 0; \\ m \geq p, \end{cases} \\ \overline{b_0^{(k)}} a_p^{(k)}, & p > m = 0, \\ b_0^{(k)} \overline{a_{-p}^{(k)}} |\zeta|^{-2p}, & p < m = 0, \\ \overline{b_0^{(k)}} a_0^{(k)} + b_0^{(k)} \overline{a_0^{(k)}}, & p = m = 0, \\ 0, & m(m-p) < 0. \end{cases}$$

Теперь необходимо перейти от граничных условий (1) в плоскости z к граничным условиям в плоскости ζ:

$$u\big|_{|\zeta|=1} = \widetilde{g}_0(e^{i\theta}) = g_0(z(e^{i\theta}));$$
$$\left.\frac{\partial u}{\partial n_1}\right|_{|\zeta|=1} = \widetilde{g}_1(e^{i\theta}) = g_1(z(e^{i\theta}))\left|z'(e^{i\theta})\right|;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots;$$
$$\left.\frac{\partial^{n-1}u}{\partial n_1^{\,n-1}}\right|_{|\zeta|=1} = \widetilde{g}_{n-1}(e^{i\theta}) = \frac{\partial}{\partial n_1}\left(\frac{\partial^{n-2}u}{\partial n_1^{\,n-2}}\right)\Bigg|_{|\zeta|=1}.$$

Подробно остановимся на первой производной по нормали. Пусть $\dfrac{\partial u}{\partial n}$ – производная в плоскости z, а $\dfrac{\partial u}{\partial n_1}$ – в плоскости ζ. По определению нормальной производной:

$$\frac{\partial u}{\partial n} = (\nabla u \cdot \mathbf{n}) = |\nabla u| \cdot |\mathbf{n}| \cos(\nabla u, \mathbf{n}), \quad \frac{\partial u}{\partial n_1} = (\nabla_1 u \cdot \mathbf{n}_1) = |\nabla_1 u| \cdot |\mathbf{n}_1| \cos(\nabla u, \mathbf{n}_1),$$

где $\nabla u = \left(\dfrac{\partial u}{\partial x}, \dfrac{\partial u}{\partial y}\right)$ – градиент функции u в плоскости z; $\nabla_1 u = \left(\dfrac{\partial u}{\partial \xi}, \dfrac{\partial u}{\partial \eta}\right)$ – градиент функции u в плоскости ζ. Тогда

$$\nabla_1 u = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \xi}, \frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \eta}\right).$$

Обратная отображающая функция $z(\zeta)$ является аналитической, поэтому

$$z'(\zeta) = \frac{\partial x}{\partial \xi} + i\frac{\partial y}{\partial \xi} = \frac{\partial y}{\partial \eta} - i\frac{\partial x}{\partial \eta},$$

а значит,

$$|\nabla_1 u| = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\operatorname{Re} z'(\zeta) + \frac{\partial u}{\partial y}\operatorname{Im} z'(\zeta)\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\operatorname{Re} z'(\zeta) - \frac{\partial u}{\partial x}\operatorname{Im} z'(\zeta)\right)^2} =$$
$$= \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}\sqrt{\operatorname{Re}^2 z'(\zeta) + \operatorname{Im}^2 z'(\zeta)} = |\nabla u||z'(\zeta)|.$$

Учитывая теперь, что $|\mathbf{n}| = |\mathbf{n}_1| = 1$, а также что при конформном отображении имеет место консерватизм углов и поэтому $\cos(\nabla u, \mathbf{n}) = \cos(\nabla u, \mathbf{n}_1)$, получим окончательно

$$\left.\frac{\partial u}{\partial n_1}\right|_{|\zeta|=1} = \left.\frac{\partial u}{\partial n}\right|_{z\in\partial D}\left|z'(e^{i\theta})\right| = g_1(z(e^{i\theta}))\left|z'(e^{i\theta})\right|.$$

Несложно показать, что производные по внешней нормали единичного круга

$$\frac{\partial^k u}{\partial n_1^{\,k}} = \frac{\partial^k u}{\partial \rho^k} = \sum_{p=-\infty}^{\infty} A_p \frac{p!}{(p-k)!}\zeta^{p-k}e^{ik\theta}, \quad k = \overline{1, n-1}, \tag{6}$$

где $\rho = |\zeta|$.

Разложим теперь в ряды функции

$$\widetilde{g}_k(e^{i\theta}) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} S_p^{(k)} e^{ip\theta}, \quad k = \overline{0, n-1}$$

и удовлетворим краевым условиям, полагая в (5) и (6) $\zeta = e^{i\theta}$. Приравнивая коэффициенты при $e^{ip\theta}$, получаем бесконечную систему линейных уравнений $A_p \dfrac{p!}{(p-k)!} = S_p^{(k)}$, $k = \overline{0, n-1}$, $p \in Z$ относительно неизвестных коэффициентов $a_m^{(k)}$. В полученных таким образом линейных уравнениях необходимо выделить действительные и мнимые части

коэффициентов. При этом линейность системы не нарушается, и её можно решить известными методами, сохранив конечное число коэффициентов.

При кажущейся простоте метода реализация его сопряжена с рядом трудностей, связанных с конформным отображением односвязной области на единичный круг, с разложением отображающей функции в ряд Тейлора и решением бесконечной системы линейных уравнений.

§ 3. Нахождение коэффициентов численным методом коллокации. Метод коллокации предусматривает выполнение краевых условий лишь в конечном числе отдельных (коллокационных) точек границы. Обозначим через z_q $(q=\overline{1,2N})$ коллокационные точки на границе ∂D. Сохраним в рядах (3) по N членов:

$$\varphi_k(\zeta)=\sum_{m=1}^{N}\widetilde{a}_m^{(k)}\zeta^m \quad (k=\overline{0,n-1})\,. \tag{7}$$

Искомая функция u может быть представлена в виде:

$$u(\zeta)=\frac{1}{2}\sum_{k=0}^{n-1}\sum_{m=1}^{N}\left[\widetilde{a}_m^{(k)}f_m^{(k)}(\zeta)+\overline{\widetilde{a}_m^{(k)}}\,\overline{f_m^{(k)}(\zeta)}\right],$$

где $f_m^{(k)}(\zeta)=\overline{z^k(\zeta)}\zeta^m$.

Общее число неизвестных вещественных и мнимых частей коэффициентов равно $2nN$. Пронумеровав эти коэффициенты от 1 до $2nN$:

$$C_m=\begin{cases}\operatorname{Re}\widetilde{a}_m^{(0)}, & m=\overline{1,N},\\ \operatorname{Im}\widetilde{a}_{m-N}^{(0)}, & m=\overline{N+1,2N},\\ \operatorname{Re}\widetilde{a}_{m-2N}^{(1)}, & m=\overline{2N+1,3N},\\ \operatorname{Im}\widetilde{a}_{m-3N}^{(1)}, & m=\overline{3N+1,4N},\\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots,\\ \operatorname{Re}\widetilde{a}_{m-(2n-2)N}^{(n-1)}, & m=\overline{(2n-2)N+1,(2n-1)N},\\ \operatorname{Im}\widetilde{a}_{m-(2n-1)N}^{(n-1)}, & m=\overline{(2n-1)N,2nN},\end{cases}$$

можно представить искомую функцию в виде ряда

$$u(\zeta)=\sum_{m=1}^{2nN}C_mF_m(\zeta)\,, \tag{8}$$

где

$$F_m(\zeta)=\begin{cases}\operatorname{Re}f_m^{(0)}(\zeta), & m=\overline{1,N},\\ -\operatorname{Im}f_{m-N}^{(0)}(\zeta), & m=\overline{N+1,2N},\\ \operatorname{Re}f_{m-2N}^{(1)}(\zeta), & m=\overline{2N+1,3N},\\ -\operatorname{Im}f_{m-3N}^{(1)}(\zeta), & m=\overline{3N+1,4N},\\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots,\\ \operatorname{Re}f_{m-(2n-2)N}^{(n-1)}(\zeta), & m=\overline{(2n-2)N+1,(2n-1)N},\\ -\operatorname{Im}f_{m-(2n-1)N}^{(n-1)}(\zeta), & m=\overline{(2n-1)N,2nN}.\end{cases} \tag{9}$$

Разобьём единичную окружность на $2N$ частей и получим $2N$ коллокационных точек $\zeta_q=e^{iT_q}$, $T_q=\pi q/N$. Введём следующие обозначения:

$$u_q^{(k)}=\widetilde{g}_k(\zeta_q),\quad k=\overline{0,n-1},\quad q=\overline{1,2N},$$

$$F_m^{(k)}(\zeta)=\frac{d^kF_m(\zeta)}{dn_1^{\,k}}=\frac{d^kF_m(\zeta)}{d\rho^k},\quad k=\overline{0,n-1},\quad m=\overline{1,2nN}, \tag{10}$$

$$L_{mq}^{(k)}=F_m^{(k)}\left(\zeta_q\right),\quad k=\overline{0,n-1},\quad m=\overline{1,2nN},\quad q=\overline{1,2N}.$$

Далее

$$U_q = \begin{cases} u_q^{(0)}, & q = \overline{1, 2N}, \\ u_{q-2N}^{(1)}, & q = \overline{2N+1, 4N}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ u_{q-2(n-1)N}^{(n-1)}, & q = \overline{2(n-1)N+1, 2nN}, \end{cases} \quad m = \overline{1, 2nN},$$

$$M_{qm} = \begin{cases} L_{mq}^{(0)}, & q = \overline{1, 2N}, \\ L_{m,\,q-2N}^{(1)}, & q = \overline{2N+1, 4N}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ L_{m,\,q-2(n-1)N}^{(n-1)}, & q = \overline{2(n-1)N+1, 2nN}, \end{cases} \quad m = \overline{1, 2nN}. \tag{11}$$

Все значения $u_q^{(k)}$ и $L_{mq}^{(k)}$ легко вычисляются, и значит, наша задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений $\mathbf{U} = \mathbf{MC}$ для нахождения неизвестных коэффициентов C_m. Решение запишется в матричной форме

$$\mathbf{C} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{U}. \tag{12}$$

Коэффициенты рядов (7) вычисляются через компоненты вектора $\mathbf{C}$ по формулам:

$$\tilde{a}_m^{(k)} = C_{m+2kN} + iC_{m+(2k+1)N}, \quad (k = \overline{0, n-1}). \tag{13}$$

Примеры 1. В качестве примера аналитического решения рассматривается следующая задача: найти функцию $u(x, y)$, удовлетворяющую в круге радиуса R уравнению $\Delta^3 u = 0$, непрерывную вместе со своими производными до 2-го порядка включительно в $|z| \le R$ и удовлетворяющую на границе $|z| = R$ условиям:

$$\left.\begin{aligned} & u\big|_{|z|=R} = R^5 \cos\theta \sin\theta (\cos^3\theta + \sin^3\theta), \\ & \left.\frac{\partial u}{\partial n}\right|_{|z|=R} = 5R^4 \cos\theta \sin\theta (\cos^3\theta + \sin^3\theta), \\ & \left.\frac{\partial^2 u}{\partial n^2}\right|_{|z|=R} = 20R^3 \cos\theta \sin\theta (\cos^3\theta + \sin^3\theta). \end{aligned}\right\} \quad 0 \le \theta < 2\pi. \tag{14}$$

В силу (2) и (3) решение ищется в виде:

$$u(z) = \mathrm{Re}\left[\varphi_0(z) + \bar{z}\varphi_1(z) + \bar{z}^2\varphi_2(z)\right], \tag{15}$$

$$\varphi_k(z(\zeta)) = \varphi_k(\zeta) = \sum_{m=0}^{\infty} \left(\alpha_m^{(k)} + i\beta_m^{(k)}\right)\zeta^m \quad (k = \overline{0, 2}). \tag{16}$$

Обратная отображающая функция $z(\zeta) = R\zeta$. Подставив теперь (16), отображающую функцию и $\zeta = \rho(\cos\theta + i\sin\theta)$ в (15), получим:

$$\begin{aligned} u = {} & \left(\rho\alpha_0^{(1)} + \rho^3\alpha_1^{(2)}\right)\cos\theta + \left(\rho\beta_0^{(1)} + \rho^3\beta_1^{(2)}\right)\sin\theta + \rho^2\alpha_0^{(2)}\cos 2\theta + \rho^2\beta_0^{(2)}\sin 2\theta + \\ & + \sum_{m=0}^{\infty}\left\{\left(\alpha_n^{(0)} + \rho^2\alpha_{n+1}^{(1)} + \rho^4\alpha_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\cos n\theta - \left(\beta_n^{(0)} + \rho^2\beta_{n+1}^{(1)} + \rho^4\beta_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\sin n\theta\right\}. \end{aligned} \tag{17}$$

С учетом, что $n_1 = (\cos\theta, \sin\theta)$, первая и вторая нормальные производные функции (17):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial n_1} = {} & \left(\alpha_0^{(1)} + 3\rho^2\alpha_1^{(2)}\right)\cos\theta + \left(\beta_0^{(1)} + 3\rho^2\beta_1^{(2)}\right)\sin\theta + 2\rho\alpha_0^{(2)}\cos 2\theta + 2\rho\beta_0^{(2)}\sin 2\theta + \\ & + \sum_{m=0}^{\infty}\left\{\left(\frac{n\alpha_n^{(0)}}{\rho} + \rho(n+2)\alpha_{n+1}^{(1)} + \rho^3(n+4)\alpha_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\cos n\theta - \right. \\ & \left. - \left(\frac{n\beta_n^{(0)}}{\rho} + \rho(n+2)\beta_{n+1}^{(1)} + \rho^3(n+4)\beta_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\sin n\theta\right\}, \end{aligned} \tag{18}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial n_1^{\,2}} = 6\rho\alpha_1^{(2)}\cos\theta + 6\rho\beta_1^{(2)}\sin\theta + 2\alpha_0^{(2)}\cos 2\theta + 2\beta_0^{(2)}\sin 2\theta +$$
$$+ \sum_{m=0}^{\infty}\left\{\left(\frac{n(n-1)\alpha_n^{(0)}}{\rho^2} + (n+2)(n+1)\alpha_{n+1}^{(1)} + \rho^2(n+4)(n+3)\alpha_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\cos n\theta - \right. \qquad (19)$$
$$\left. -\left(\frac{n(n-1)\beta_n^{(0)}}{\rho^2} + (n+2)(n+1)\beta_{n+1}^{(1)} + \rho^2(n+4)(n+3)\beta_{n+2}^{(2)}\right)\rho^n\sin n\theta\right\}.$$

Граничные условия (14) в плоскости ζ после преобразований примут вид:

$$\left.\begin{aligned} u\big|_{|\zeta|=1} &= R^5\left(\frac{1}{8}\cos\theta + \frac{1}{8}\sin\theta - \frac{3}{16}\cos 3\theta + \frac{3}{16}\sin 3\theta + \frac{1}{16}\cos 5\theta + \frac{1}{16}\sin 5\theta\right), \\ \left.\frac{\partial u}{\partial n_1}\right|_{|\zeta|=1} &= R^5\left(\frac{5}{8}\cos\theta + \frac{5}{8}\sin\theta - \frac{15}{16}\cos 3\theta + \frac{15}{16}\sin 3\theta + \frac{5}{16}\cos 5\theta + \frac{5}{16}\sin 5\theta\right), \\ \left.\frac{\partial^2 u}{\partial n_1^{\,2}}\right|_{|\zeta|=1} &= R^5\left(\frac{5}{2}\cos\theta + \frac{5}{2}\sin\theta - \frac{15}{4}\cos 3\theta + \frac{15}{4}\sin 3\theta + \frac{5}{4}\cos 5\theta + \frac{5}{4}\sin 5\theta\right). \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$
$$0 \le \theta < 2\pi$$

Положив теперь в (17)-(19) $\rho = 1$ и приравняв полученные выражения правым частям соответствующих равенств (20), получим систему линейных алгебраических уравнений, решив которую найдём следующие значения коэффициентов в разложениях (16):

$$\alpha_0^{(1)} = -\alpha_1^{(0)};\quad \alpha_1^{(2)} = -\alpha_2^{(1)};\quad \alpha_3^{(2)} = \frac{R^5}{8};\quad \alpha_4^{(1)} = -\frac{3R^5}{16};\quad \alpha_5^{(0)} = \frac{R^5}{16};$$
$$\beta_0^{(1)} = \beta_1^{(0)};\quad \beta_1^{(2)} = \beta_2^{(1)};\quad \beta_3^{(2)} = -\frac{R^5}{8};\quad \beta_4^{(1)} = -\frac{3R^5}{16};\quad \beta_5^{(0)} = -\frac{R^5}{16}.$$

Все остальные коэффициенты равны нулю. Подставив теперь эти коэффициенты в (17), получим выражение для искомой полигармонической функции 3-го порядка:

$$u(\zeta) = R^5\rho^5\left(\frac{1}{8}\cos\theta + \frac{1}{8}\sin\theta - \frac{3}{16}\cos 3\theta + \frac{3}{16}\sin 3\theta + \frac{1}{16}\cos 5\theta + \frac{1}{16}\sin 5\theta\right).$$

С учётом, что $z = re^{i\theta} = R\rho e^{i\theta}$, в плоскости z искомая функция:

$$u(z) = r^5\left(\frac{1}{8}\cos\theta + \frac{1}{8}\sin\theta - \frac{3}{16}\cos 3\theta + \frac{3}{16}\sin 3\theta + \frac{1}{16}\cos 5\theta + \frac{1}{16}\sin 5\theta\right),$$

или

$$u = xy(x^3 + y^3).$$

Таким образом, искомая функция найдена.

Пример 2. В качестве примера, иллюстрирующего метод коллокации для нахождения коэффициентов искомой функции, рассмотрим основную краевую задачу для полигармонической функции 3-го порядка в плоской области, ограниченной лемнискатой Бута. Эта кривая задаётся уравнением $(x^2 + y^2)^2 = a^2x^2 + b^2y^2$, где a и b – некоторые параметры. Кроме того, может быть получено параметрическое уравнение лемнискаты Бута:

$$\begin{cases} x(t) = \dfrac{ab^2\cos t}{a^2\sin^2 t + b^2\cos^2 t}, \\ y(t) = \dfrac{a^2 b\sin t}{a^2\sin^2 t + b^2\cos^2 t}, \end{cases} \quad \left(t = \overline{0, 2\pi}\right).$$

Пусть рассматриваемая область D ограничена лемнискатой Бута с параметрами $a = \dfrac{4}{5}, b = \dfrac{4}{3}$ (рис. 1).

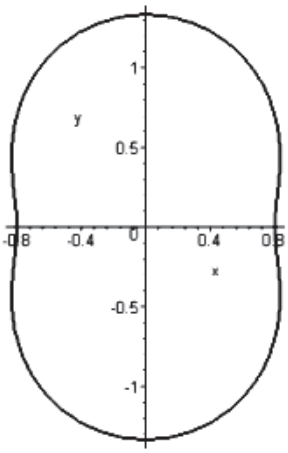


Рис. 1. Лемниската Бута с параметрами $a = 4/5$, $b = 4/3$

Граничные условия зададим, полагая, что $u = xy(x^3 + y^3)$ – искомая функция. Легко проверить, что она является полигармонической третьего порядка, и для неё могут быть найдены первая и вторая производные по внешней нормали лемнискаты Бута.

Отображающая функция, осуществляющая конформное отображение единичного круга на область, ограниченную лемнискатой Бута, имеет вид (см., например, [2]):

$$z(\zeta) = \frac{2p\zeta}{\zeta^2 + p^2} \quad \left(p = \sqrt{\frac{a+b}{b-a}} \right). \tag{21}$$

Будем приближённо искать функцию u в виде (8). Коэффициенты C_m этой функции найдём численным методом коллокации при $N = 50$. В качестве коллокационных точек выберем $\zeta_q = \frac{\pi q}{50} - \frac{\pi}{150}$, $q = \overline{1,100}$. Значения элементов матриц **M** и **U** находим по формулам (9)-(11), а искомые коэффициенты – по формулам (12)-(13). Расчёты показывают, что полученное решение на границе области практически совпадает с заданными граничными условиями.

Рассмотрим поведение найденной функции внутри области. Каждой окружности $|\zeta| = \rho$ ($\rho < 1$), лежащей внутри единичного круга в плоскости ζ, функция (21) ставит в соответствие замкнутую кривую, лежащую внутри области D плоскости z. Задавая различные значения $\rho \in [0, 1]$, можно проследить, как ведёт себя найденная функция внутри области D.

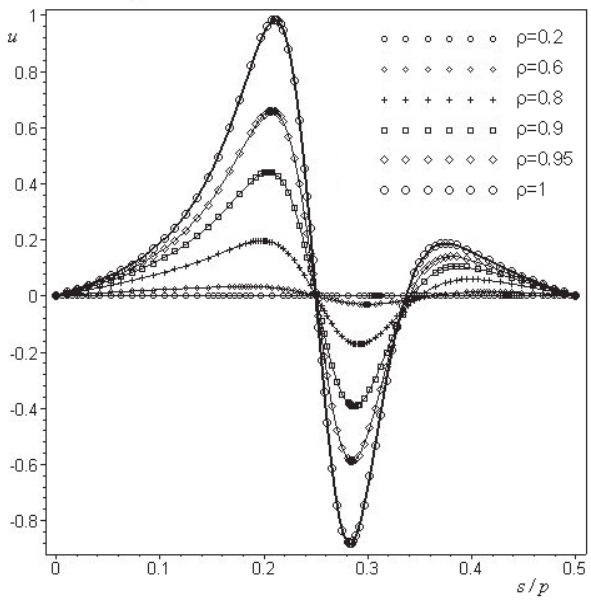


Рис. 2. Результаты решения задачи из примера 2: сплошные линии соответствуют точным графикам заданной функции, точечные линии – графикам функции, найденной с применением метода коллокации

На рис. 2 представлены графики зависимости функции u от нормированной дуговой координаты s/p для различных фиксированных значений $\rho \in [0, 1]$: сплошными линиями изображены точные графики заданной функции, а точечными линиями – графики функции, найденной в виде ряда (8) с применением метода коллокации. Нетрудно убедиться, что функция u является антипериодической с периодом $0{,}5p$. Из графиков видно, что предложенный метод даёт высокую точность как на границе области, так и внутри неё. С приближением значений аргумента к границе области значения найденной функции приближаются к значениям функции, заданной на границе. Расчёты, проведённые для $N = 20$ и $N = 40$, показывают, что с увеличением числа коллокационных точек точность метода возрастает.

Выводы. Предложенные в данной работе методы решения основной краевой задачи для полигармонического уравнения справедливы, очевидно, только для односвязных областей, для которых конформное отображение на единичный круг известно или может быть найдено. Следует, однако, заметить, что к настоящему времени некоторыми авторами разработаны приближенные методы нахождения отображающих функций с любой наперед заданной точностью. Численный метод коллокации, применяемый в данной работе, как известно, не имеет строгого математического обоснования, однако он широко используется в работах некоторых авторов (например, [4, 5]), так как он прост для численной реализации и даёт достаточно высокую точность.

Автор выражает благодарность за оказанную помощь доктору физико-математических наук, профессору Терентьеву Алексею Григорьевичу.

Литература

1. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, рядов и произведений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 1232 с.

2. *Иванов В.И., Попов В.Ю.* Конформные отображения и их приложения. М.: Едиториал УРСС, 2002.

3. *Казакова А.О., Терентьев А.Г.* Численное решение краевых задач для полигармонического уравнения // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2012. Т. 52, № 11. С. 2050-2059.

4. *Смирнов Ю. Г.* Математические методы исследования задач электродинамики. Пенза: Инф.-изд. центр ПензГУ, 2009. 268 с.

5. *Терентьев А.Г., Терентьев А.А.* Движение цилиндра в вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса // Известия НАНИ ЧР. 2002. № 2. С. 44-62.

КАЗАКОВА АНАСТАСИЯ ОЛЕГОВНА – аспирантка кафедры теоретической механики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (kazakova_anastasia@bk.ru).

KAZAKOVA ANASTASIA OLEGOVNA – post-graduate student of Theoretical Mechanics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 517.968
ББК В151.167

Ю.В. МАЛЫШЕВ, П.С. АТАМАНОВ

ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Ключевые слова: *линейное интегральное уравнение, ядро, резольвента, оператор.*

Операторный метод применяется для решения однородных, неоднородных линейных интегральных уравнений.

Yu.V. MALYSHEV, P.S. ATAMANOV

THE OPERATOR METHOD FOR SOLUTION THE INTEGRAL EQUATIONS

Key words: *linear integral equation, operator, resolution.*

Operator method is used for solution the homogeneous and nonhomogeneous linear integral equations.

Операторным методом авторами статьи получены формулы решения некоторых линейных интегральных уравнений.

1. Уравнение Вольтерра 2-го рода. Рассматривается интегральное уравнение

$$\varphi(x) = f(x) + \int_0^x K(x,t)\varphi(t)\,dt, \qquad (1)$$

где $\varphi(x)$ – искомая функция; $K(x, t)$ – функция, называемая ядром уравнения, определенная в треугольнике $a \le x \le b$, $a \le t \le x$; $f(x)$ – функция, называемая свободным членом, определена на $[a, b]$.

Пусть $D=\frac{d}{dx}$, $\frac{1}{D}=D^{-1}=\int_0^x(\ )\,dx$ – операторы соответственно дифференцирования и интегрирования. Применяется преобразование Карсона [1]

$$F(D)=D\int_0^\infty e^{-Dt}f(t)\,dt\,, \tag{2}$$

где функция $F(D)$ называется операторным представлением $f(t)$.

Из курса математического анализа известно [7], что

$$\frac{1}{D^n}f(x)=D\int_0^x\frac{(x-t)^n}{n!}f(t)\,dt\,. \tag{3}$$

При $f(x)\equiv 1$ из (3) следует $D^{-n}\cdot 1=\frac{x^n}{n!}$ или $x^n=n!D^{-n}$, т.е. степенной функции x^n соответствует операторное представление $n!D^{-n}$. Встречаемое в дальнейшем соотношение вида $\varphi(x)=\Phi(D)$ означает, что $\Phi(D)$ есть операторное представление функции $\varphi(x)$, вычисленное по формуле (2).

Если (3) переписать для $n=1$, получим

$$D^{-1}f(x)=D\int_0^x(x-t)f(t)\,dt\,.$$

Применяя оператор D^{-1} к этому равенству, придем к соотношению

$$D^{-2}f(x)=\int_0^x(x-t)f(t)\,dt\,. \tag{4}$$

Приведем операторные представления некоторых функций.

$$e^{\lambda x}=1+\lambda x+\frac{(\lambda x)^2}{2!}+\ldots+\frac{(\lambda x)^n}{n!}+\ldots=1+\frac{\lambda}{D}+\frac{\lambda^2}{D^2}+\ldots+\frac{\lambda^n}{D^n}+\ldots=\frac{1}{1-\lambda/D}=\frac{D}{D-\lambda}\,.$$

Итак,

$$e^{\lambda x}=\frac{D}{D-\lambda}\ \ (\text{здесь }\left|\frac{\lambda}{D}\right|<1).$$

$$\sin\lambda x=\lambda x-\frac{(\lambda x)^3}{3!}+\frac{(\lambda x)^5}{5!}-\frac{(\lambda x)^7}{7!}+\ldots=\frac{\lambda}{D}-\left(\frac{\lambda}{D}\right)^3+\left(\frac{\lambda}{D}\right)^5-\left(\frac{\lambda}{D}\right)^7+\ldots=$$

$$=\frac{\lambda}{D}\left[1-\left(\frac{\lambda}{D}\right)^2+\left(\frac{\lambda}{D}\right)^4-\left(\frac{\lambda}{D}\right)^6+\ldots\right]=\frac{\lambda}{D}\frac{1}{1+\left(\frac{\lambda}{D}\right)^2}=\frac{\lambda D}{D^2+\lambda^2}\,,\ \text{здесь }\left|\frac{\lambda}{D}\right|<1\,.$$

Таким образом,

$$\sin\lambda x=\frac{\lambda D}{D^2+\lambda^2}\,.$$

Выводятся формулы:

$$\cos\lambda t=\frac{D^2}{D^2+\lambda^2}\,,\ \operatorname{sh}\lambda t=\frac{\lambda D}{D^2-\lambda^2}\,,\ \operatorname{ch}\lambda t=\frac{D^2}{D^2-\lambda^2}\,,$$

$$e^{\alpha t}\cos\omega t=\frac{D(D-\alpha)}{(D-\alpha)^2+\omega^2}\,,\ e^{\alpha t}\sin\omega t=\frac{\omega D}{(D-\alpha)^2+\omega^2}\,,$$

$$e^{\alpha t}\operatorname{ch}\omega t=\frac{D(D-\alpha)}{(D-\alpha)^2-\omega^2}\,,\ e^{\alpha t}\operatorname{sh}\omega t=\frac{\omega D}{(D-\alpha)^2-\omega^2}\,.$$

Пример 1. Решить интегральное уравнение $\varphi(x)=\sin x+\int_0^x(x-t)\varphi(t)\,dt$.

Решение. Применяется формула (4), тогда

$$\varphi(x)=\sin x+D^{-2}\varphi(x)\ \text{ или }\ D^2\varphi(x)-\varphi(x)=-\sin x\,.$$

Получено обыкновенное линейное дифференциальное уравнение 2-го порядка с искомой функцией $\varphi(x)$. Решаем операторным методом [2]:

$$(D-1)(D+1)\varphi(x)=-\sin x\,,\ e^{x}De^{-2x}De^{x}\varphi(x)=-\sin x\,.$$

Применив оператор D^{-1} дважды, получим $\varphi(x)=\frac{1}{2}\sin x+\frac{C_1}{2}e^{x}+C_2e^{-x}$. По данному интегральному уравнению находим начальные условия. Во-первых, $\varphi(0)=0$ при $x=0$. Дифференцируя интегральное уравнение, получим

$$\varphi'(x)=\cos x+\left[\int_0^x(x-t)\varphi(t)\,dt\right]'_x\,.$$

Применяем формулу Лейбница

$$\left[\int_0^x f(x,t)\,dt\right]'_x=\int_0^x f'_x(x,t)\,dt+f(x,x)\,.$$

Тогда $\varphi'(x)=\cos x+\int_0^x\varphi(t)\,dt$. Если $x=0$, то $\varphi'(0)=1$. С помощью начальных условий вычисляем $C_1=\frac{1}{2}$, $C_2=-\frac{1}{4}$. Искомая функция $\varphi(x)=\frac{1}{2}\sin x+\frac{1}{2}\operatorname{sh}x$.

Ответ. $\varphi(x)=\frac{1}{2}(\sin x+\operatorname{sh}x)$.

Интегральное уравнение Вольтерра 2-го рода вида

$$\varphi(x)=f(x)+\int_0^x K(x-t)\varphi(t)\,dt\,, \tag{5}$$

так называемое уравнение типа свертки, можно решать с помощью преобразования Карсона: если $f_1(t)=F_1(D)$, $f_2(t)=F_2(D)$, то

$$f_1(t)*f_2(t)=\int_0^x f_1(\tau)f_2(t-\tau)\,d\tau=\frac{1}{D}F_1(D)F_2(D)\,.$$

Пусть в (5) искомой функции $\varphi(x)$ соответствует искомое операторное представление $\Phi(D)$, т.е. $\varphi(x)=\Phi(D)$, $K(x)=Q(D)$, $f(x)=F(D)$. Оно имеет следующий операторный вид: $\Phi(D)=F(D)+\frac{1}{D}Q(D)\Phi(D)$, из которого вычисляем $\Phi(D)$:

$$\Phi(D)=\frac{DF(D)}{D-Q(D)}\,, \tag{6}$$

находим соответствующую ему функцию $\varphi(x)$ – решение уравнения (5). Равенство (6) выступает как формула решения уравнения Вольтерра 2-го рода.

Пример 2. Решить интегральное уравнение $\varphi(x)=\frac{x^3}{6}+4\int_0^x(x-t)\varphi(t)\,dt$.

Решение. В уравнении $f(x)=\frac{x^3}{6}=\frac{1}{D^3}=F(D)$. Функция $K(x)=4x=\frac{4}{D}=Q(D)$. Так как $\varphi(x)=\Phi(D)$, по формуле (6) вычислим $\Phi(D)$:

$$\Phi(D)=\frac{1}{D(D^2-4)}=-\frac{1}{4D}+\frac{1}{8(D-2)}+\frac{1}{8(D+2)}\,.$$

Применим оператор D к обеим частям равенства:

$$D\Phi(D)=-\frac{1}{4}+\frac{D}{8(D-2)}+\frac{D}{8(D+2)}\,.$$

Тогда $$D\Phi(D) = -\frac{1}{4} + \frac{1}{8}e^{2x} + \frac{1}{8}e^{-2x}.$$

К полученному равенству применим оператор D^{-1}:

$$\varphi(x) = \int_0^x \left(-\frac{1}{4} + \frac{1}{8}e^{2x} + \frac{1}{8}e^{-2x} \right) dx = \left(-\frac{1}{4}x + \frac{1}{16}e^{2x} - \frac{1}{16}e^{-2x} \right)\Big|_0^x.$$

Ответ. $\varphi(x) = -\frac{1}{4}x + \frac{1}{16}e^{2x} - \frac{1}{16}e^{-2x}$.

2. Уравнение Вольтерра 1-го рода. Пусть в уравнение (5) искомая функция $\varphi(x)$ входит только под знаком интеграла, тогда имеем уравнение Вольтерра 1-го рода

$$\int_0^x K(x-t)\varphi(t)\,dt = f(x). \tag{7}$$

Если для функций $K(x)$, $f(x)$ найдены их операторные представления, соответственно, $Q(D)$, $F(D)$, то уравнение (7) в операторном виде имеет вид $\frac{1}{D}Q(D)\Phi(D) = F(D)$, в нем $\Phi(D)$ – операторное представление искомой функции $\varphi(x)$;

$$\Phi(D) = \frac{DF(D)}{Q(D)}. \tag{8}$$

Пример 3. Решить уравнение Вольтерра 1-го рода

$$\int_0^x \cos(x-t)\varphi(t)\,dt = x + x^2.$$

Решение. В нем $K(x) = \cos x = \frac{D^2}{D^2+1} = Q(D)$, $f(x) = x + x^2 = \frac{1}{D} + \frac{2}{D^2} = F(D)$. Тогда по формуле (8)

$$\Phi(D) = \frac{(D+2)(D^2+1)}{D^3} = 1 + \frac{2}{D} + \frac{1}{D^2} + \frac{2}{D^3},\ \varphi(x) = 1 + 2x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3.$$

Ответ. $\varphi(x) = 1 + 2x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3$.

3. Решение уравнения Вольтерра 2-го рода с помощью резольвенты ядра. Известно, что для ядра $q(x-t)$ интегрального уравнения резольвента ядра также зависит только от разности аргументов $x-t$, т.е. $r = r(x-t)$ – резольвента. Если найдена резольвента линейного интегрального уравнения Вольтерра 2-го рода

$$\varphi(x) = f(x) + \int_0^x q(x-t)\varphi(t)\,dt, \tag{9}$$

то его решение через резольвенту имеет вид

$$\varphi(x) = f(x) + \int_0^x r(x-t)f(t)\,dt. \tag{10}$$

Пусть операторными представлениями функций $f(x)$, $q(x)$, $r(x)$, $\varphi(x)$, соответственно, являются функции $F(D)$, $Q(D)$, $R(D)$, $\Phi(D)$. Применяя их, уравнения (9) и (10) запишем в виде системы

$$\begin{cases} \Phi(D) = FD) + \frac{1}{D}Q(D)\Phi(D), \\ \Phi(D) = F(D) + \frac{1}{D}R(D)F(D). \end{cases}$$

Из нее вытекает равенство $Q(D)\Phi(D) = R(D)F(D)$, тогда $R(D) = \frac{Q(D)\Phi(D)}{F(D)}$. Из первого равенства системы $\Phi(D) = \frac{F(D)}{1 - D^{-1}Q(D)}$. Применяя это в выражении для $R(D)$, получим

$$R(D)=\frac{DQ(D)}{D-Q(D)}. \qquad (11)$$

Найдена функция $r = r(x)$ и, соответственно, резольвента $r = r(x - t)$ ядра $q(x - t)$ уравнения (9). По равенству (10) находим φ(x) – решение уравнения (9).

Пример 3. С помощью резольвенты ядра операторным методом решить уравнение $\varphi(x)=1+\int_0^x \cos(x-t)\sin(x-t)\varphi(t)\,dt$.

Решение. Вычислим резольвенту. В уравнении

$$q(x-t)=\frac{1}{2}\sin 2(x-t),\ q(x)=\frac{1}{2}\sin 2x=\frac{D}{D^2+4}=Q(D).$$

По формуле (11)

$$R(D)=\frac{D^2}{D^2+4}\cdot\frac{D^2+4}{D^3+3D}=\frac{D}{D^2+3}.$$

Тогда $r(x)=\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\sqrt{3}x$, $r(x-t)=\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\sqrt{3}(x-t)$ – резольвента.

Вычислим φ(x) по формуле (10):

$$\varphi(x)=1+\int_0^x\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\sqrt{3}(x-t)\cdot 1\,dt=1+\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\cos\sqrt{3}(x-t)}{\sqrt{3}}\Bigg|_0^x=$$

$$=1+\frac{1}{3}(1-\cos\sqrt{3}x)=\frac{1}{3}(4-\cos\sqrt{3}x).$$

Ответ. $\varphi(x)=\frac{1}{3}(4-\cos\sqrt{3}x)$.

4. Операторный метод решения интегральных уравнений с вырожденным ядром. Пусть уравнение (1) имеет вид

$$\varphi(x)=f(x)+\int_0^x r(x)q(t)\varphi(t)\,dt. \qquad (12)$$

Оно относится к классу уравнений с вырожденным ядром. Перепишем это уравнение в другом виде:

$$\varphi(x)=f(x)+r(x)\int_0^x q(t)\varphi(t)\,dt.$$

Пусть

$$\int_0^x q(t)\varphi(t)\,dt=u(x). \qquad (13)$$

Тогда решение уравнения (12) имеет вид

$$\varphi(x)=f(x)+r(x)u(x). \qquad (14)$$

Задача состоит в вычислении функции $u(x)$. Дифференцируем (13) по x:

$$u'(x)=q(x)\varphi(x) \text{ или } u'(x)=q(x)[f(x)+r(x)u(x)].$$

Получим обыкновенное линейное дифференциальное уравнение 1-го порядка относительно функции $u(x)$ с начальным условием $u(0) = 0$:

$$u'_x-r(x)q(x)u=q(x)f(x).$$

Операторным методом решаем полученное уравнение [2]:

$$[D-r(x)q(x)]u=q(x)f(x),\ D=\frac{d}{dx};$$

$$e^{\int r(x)q(x)dx}De^{-\int r(x)q(x)dx}u=q(x)f(x);$$

$$De^{-\int r(x)q(x)dx}u=e^{-\int r(x)q(x)dx}q(x)f(x).$$

Применяем обратный оператор D^{-1}:

$$e^{-\int r(x)q(x)dx}u = D^{-1}e^{-\int r(x)q(x)dx}q(x)f(x)+C,$$

$$u = e^{\int r(x)q(x)dx}D^{-1}e^{-\int r(x)q(x)dx}q(x)f(x)+Ce^{\int r(x)q(x)dx}. \quad (15)$$

Пусть с помощью начального условия $u(0) = 0$ получено $C = C_0$. Тогда формулой решения уравнения (12) будет

$$\varphi(x) = f(x)+r(x)\left[e^{\int r(x)q(x)dx}D^{-1}e^{-\int r(x)q(x)dx}q(x)f(x)+C_0e^{\int r(x)q(x)dx}\right].$$

Пример 4. Решить интегральное уравнение $\varphi(x) = 1+\int_0^x \frac{\operatorname{ch} t}{\operatorname{ch} x}\varphi(t)\,dt$.

Решение. В примере $r(x) = 1/\operatorname{ch} x$, $q(t) = 1/\operatorname{ch} x$, $f(x) = 1$. Вычислим $u(x)$ по формуле (15): $u(x) = \frac{1}{2}xe^x - \frac{1}{4}e^{-x} + Ce^x$. С помощью начального условия $u(0) = 0$ вычислим C = 1/4, тогда $u(x) = \frac{1}{2}(xe^x + \operatorname{sh} x)$. Применим формулу (14): $\varphi(x) = 1+\frac{1}{2\operatorname{ch} x}(xe^x + \operatorname{sh} x)$.

Ответ. $\varphi(x) = 1+\frac{1}{2\operatorname{ch} x}(xe^x + \operatorname{sh} x)$.

5. Решение системы двух интегральных уравнений Вольтерра операторным методом. Пусть задана система

$$\begin{cases}\varphi_1(x) = f_1(x)+\int_0^x q_{11}(x-t)\varphi_1(t)\,dt+\int_0^x q_{12}(x-t)\varphi_2(t)\,dt,\\ \varphi_2(x) = f_2(x)+\int_0^x q_{21}(x-t)\varphi_1(t)\,dt+\int_0^x q_{22}(x-t)\varphi_2(t)\,dt\end{cases} \quad (16)$$

с двумя искомыми функциями $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$. Обозначим соответствующие им операторные представления через $\Phi_1(D)$, $\Phi_2(D)$. Операторные представления входящих в систему (16) функций считаем известными. Пусть

$$f_1(x) = F_1(D),\ q_{11}(x) = Q_{11}(D),\ q_{12}(x) = Q_{12}(D),$$
$$f_2(x) = F_2(D),\ q_{21}(x) = Q_{21}(D),\ q_{22}(x) = Q_{22}(D).$$

Системе (16) соответствует система операторных уравнений с искомыми $\Phi_1(D)$, $\Phi_2(D)$:

$$\begin{cases}\Phi_1(D) = F_1(D)+\frac{1}{D}Q_{11}(D)\Phi_1(D)+\frac{1}{D}Q_{12}(D)\Phi_2(D),\\ \Phi_2(D) = F_2(D)+\frac{1}{D}Q_{21}(D)\Phi_1(D)+\frac{1}{D}Q_{22}(D)\Phi_2(D).\end{cases}$$

Опуская аргументы функций, перепишем ее в нужной нам форме:

$$\begin{cases}(D-Q_{11})\Phi_1 - Q_{12}\Phi_2 = DF_1,\\ -Q_{21}\Phi_1 + (D-Q_{22})\Phi_2 = DF_2.\end{cases}$$

Ее решением являются

$$\Phi_1(D) = \frac{DF_2Q_{12}+DF_1(D-Q_{22})}{(D-Q_{11})(D-Q_{22})-Q_{12}Q_{21}}, \quad (17)$$

$$\Phi_2(D) = \frac{DF_1Q_{21}+DF_2(D-Q_{11})}{(D-Q_{11})(D-Q_{22})-Q_{12}Q_{21}}. \quad (18)$$

По функциям $\Phi_1(D)$, $\Phi_2(D)$ находятся функции $\varphi_1 = \varphi_1(x)$, $\varphi_2 = \varphi_2(x)$ – решение системы (16).

Пример 5. Решить систему интегральных уравнений

$$\begin{cases}\varphi_1(x) = 1-2\int_0^x e^{2(x-t)}\varphi_1(t)\,dt+\int_0^x \varphi_2(t)\,dt,\\ \varphi_2(x) = 4x-\int_0^x \varphi_1(t)\,dt+4\int_0^x (x-t)\varphi_2(t)\,dt.\end{cases}$$

Решение. Запишем операторные представления функций, входящих в систему:

$$f_1(x)=1=1=F_1(D),\ q_{11}(x)=-2e^{2x}=-\frac{2D}{D-2}=Q_{11}(D),\ q_{12}(x)=1=1=Q_{12}(D),$$

$$f_2(x)=4x=\frac{4}{D}=F_2(D),\ q_{21}(x)=-1=-1=Q_{21}(D),\ q_{22}(x)=4x=\frac{4}{D}=Q_{22}(D).$$

По формуле (17) найдем

$$\Phi_1(D)=\frac{D^2}{(D+1)^2},$$

$$\frac{\Phi_1(D)}{D}=\frac{D}{(D+1)^2}=\frac{1}{D+1}-\frac{1}{(D+1)^2},$$

$$\Phi_1(D)=\frac{D}{D+1}-\frac{D}{(D+1)^2},$$

тогда $\varphi_1(x)=e^{-x}(1-x)$. По формуле (18) найдем

$$\Phi_2(D)=\frac{16}{9(D-2)}+\frac{11}{9(D+1)}-\frac{1}{3(D+1)^2},$$

$$D\Phi_2(D)=\frac{16D}{9(D-2)}+\frac{11D}{9(D+1)}-\frac{D}{3(D+1)^2}=\frac{16}{9}e^{2x}+\frac{11}{9}e^{-x}-\frac{1}{3}xe^{-x},$$

$$\varphi_2(x)=\int_0^x\left(\frac{16}{9}e^{2x}+\frac{11}{9}e^{-x}-\frac{1}{3}xe^{-x}\right)dx=\frac{8}{9}e^{2x}-\frac{8}{9}e^{-x}+\frac{1}{3}xe^{-x}.$$

Ответ. $\varphi_1(x)=e^{-x}(1-x)$, $\varphi_2(x)=\frac{8}{9}e^{2x}-\frac{8}{9}e^{-x}+\frac{1}{3}xe^{-x}$.

Литература

1. *Диткин В.А.*, *Прудников А.П.* Операционное исчисление. М.: Высш. шк., 1966.

2. *Малышев Ю.В., Атаманов П.С.* Интегрирование дифференциальных уравнений операторным методом. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. 176 с.

3. *Малышев Ю.В., Атаманов П.С.* Применение факторизованных операторов при решении линейных дифференциальных уравнений в частных производных // Вестник Чувашского университет. 2010. № 3. С. 3-9.

4. *Малышев Ю.В., Атаманов П.С.* Операторный метод решения обыкновенных линейных дифференциальных уравнений высших порядков // Математические и методы и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. Вып. 12. С. 52-61.

5. *Малышев Ю.В., Атаманов П.С.* Факторизованные операторы и системы дифференциальных уравнений // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. 2011. № 16. С. 54-61.

6. *Петровский И.Г.* Лекции по интегральным уравнениям. М.: Наука, 1965.

7. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Высш. шк., 1969. Т. 3.

МАЛЫШЕВ ЮРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики, Казанский государственный технологический университет, Россия, Казань (office@kstu.ru).

MALYSHEV YURIY VALENTINOVICH – doctor of physical and mathematical sciences, professor of High Mathematics Chair, Kazan State Technological University, Russia, Kazan.

АТАМАНОВ ПЕТР СТЕПАНОВИЧ – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oper@chuvsu.ru).

ATAMANOV PETR STEPANOVICH – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of High Mathematics Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 517.95
ББК В161.62

А.А. СТАКУН

ЗАДАЧА ДИРИХЛЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТИПА ЛАВРЕНТЬЕВА–БИЦАДЗЕ

Ключевые слова: *оператор, резольвента, дискретный и непрерывный спектры, индефинитная метрика, собственные функции, асимптотика, спектральное разложение, краевая задача, контурный интеграл, уравнения смешанного типа, задача Дирихле, ограниченная и неограниченная области.*

Решена задача Дирихле на бесконечной полуполосе и на прямоугольнике для уравнения смешанного типа (гиперболическо-эллиптический тип). Попутно изучены спектральные задачи, ассоциированные с вышеуказанной краевой задачей.

A.A. STAKUN

THE DIRICHLET BOUDERY PROBLEM ASSOCIATED WITH DIFFERENTIAL EQUATIONS ABOUT A DIFFERENT TYPE

Key words: *operator, resolvent, discrete and continuous spectra, indefinite metric, eigenfunctions, asymptotic, expansion, boundary problem, contour integral, equations about a different type,, Dirichlet boundary problem, bounded, unbounded domain.*

The present article considers Dirichlet problem for some classes equations about a different type. The indefinite inner product is useful for classification of this problem. The consideration concerned with the author's researches associated with differential operators about a singular turning point.

Уравнение Лаврентьева–Бицадзе, известное в аэродинамике больших скоростей [8. С. 303], имеет вид $u_{tt} + \operatorname{sign}(x)\cdot|x|^{\gamma} u_{xx} = 0,\ 0 \le \gamma < 2$. В данной работе будет рассмотрена задача Дирихле на бесконечной полосе и на прямоугольнике для случая $\gamma = 1$ и уравнения более общего вида $u_{tt} + p(x)u_{xx} + P(x)u = 0$, где $p(x) = x/r(x)$, $r(x) > 0$, т.е. функция $p(x)$ произвольна (с ограничениями на гладкость), а $P(x)$ имеет специальный вид.

§ 1. Постановка задач. Спектральные задачи. Рассмотрим краевую задачу

$$q(x)u_{tt} + u_{xx} + \theta(x)u = 0\ ,\ q(x) = r(x)/x\ ,\ r(x) > 0\ ,\ r(0) = 1\ ;$$

$$x \in [-\alpha; +\infty)\ ,\ \alpha > 0\ ;\ t \in [0; T]\ ;\ T > 0\ ;\ r(x) \in C^2[-\alpha; +\infty)\ ;\ B = [-\alpha; +\infty)\times[0; T]\ ; \qquad (1)$$

$$u(x; 0) = \varphi(x)\ ;\ u(x; T) = \psi(x)\ ; \qquad (2)$$

$$u(-\alpha; t) = a(t)\ . \qquad (3)$$

На бесконечности требуется ограниченность решения уравнения (1) (фактически, в ряде случаев, решения стремятся к нулю). Условия сопряжения решений при $x = 0$ будут указаны позднее.

Требования на функции $\varphi(x)$, $\psi(x)$, $a(t)$ будут указаны. Вид функции $\theta(x)$ указывается ниже, а именно:

$$\xi(x) = \int_0^x \sqrt{q(t)}\,dt\ ;\ \arg(\xi) = 0\ ,\ x \ge 0\ ;\ \arg(\xi) = \pi/2\ ,\ x \le 0\ ;\ w(x) = (\xi/2)^2\ ;$$

$$\theta(x) = -\sqrt{w'(x)}\,(1/\sqrt{w'(x)})''. \qquad (4)$$

Отметим, что при $q(x) = 1/x$ имеем $\theta(x) \equiv 0$. Позднее также будут указаны условия сопряжения решений уравнения (1) при переходе через линию $x = 0$. Пока предположим: $a(t) \in C^2[0; T]$, $a(0) = a(T) = 0$; $\varphi(x)$, $\psi(x) \in C([-\alpha; +\infty) \cap L_{2,q}[-\alpha; +\infty))$, $\varphi(-\alpha) = \psi(-\alpha) = 0$ (позднее требования будут уточнены).

Нам часто придется использовать индефинитную [1. С. 13] форму

$$[g; f] = \int_{-\alpha}^{+\infty} q(x)\overline{g}(x)f(x)dx\ , \qquad (5)$$

где интеграл в (5) при необходимости понимается в смысле главного значения по Коши. Очевидно, что форма (5) определена на всем $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$, т.е. на стандартном гильбертовом пространстве с метрикой

$$(g; f) = \int_{-\alpha}^{+\infty} |q(x)| \overline{g}(x) f(x) dx \tag{6}$$

и индефинитной метрикой (5) [1. С. 34]. Если считать для определенности, что $r(x) \geq c > 0$, то $L_{2,q}[-\alpha; +\infty) \subset L_2[-\alpha; +\infty)$. Ограничиться пространством $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$ мы не можем, потому что базисы, с которыми приходится работать, вообще говоря, не принадлежат этому пространству (векторы этого пространства по ним разлагаются, но не только они). Решения уравнения (4), например, надо включать в рассмотрение, а они большей частью не принадлежат $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$. Форма же (5) на них определена. Вообще (5) определена на всюду плотном множестве в $L_2[-\alpha; +\infty)$ ($L_2[-\alpha; +\beta)$, $\beta > 0$). В полном описании области определения оператора $l_\lambda u$, связанного с краевой задачей (см. ниже), нет необходимости. Потому что в теореме разложения интегрируется по контуру Gqf, где G – резольвента. Вот там и будет описано множество функций f (а значит, и $u = l_\lambda^{-1} qf$), для которого работает теорема разложения, на этом множестве форма (5) определена.

Разделим переменные в задаче (1)-(3), положив $u(x;t) = X(x)T(t)$:

$$\frac{T''}{T} = -\frac{X'' + \theta(x)X}{q(x)X} = \lambda^2 . \tag{7}$$

Рассмотрим первую задачу (1)-(2)-$(3)_0$, где индекс 0, здесь и везде, означает однородное (нулевое) условие. Из (7) возникает спектральная задача

$$-X'' - \lambda^2 q(x)X - \theta(x)X = 0 , \tag{8}$$

$$X(-\alpha) = 0 . \tag{9}$$

На бесконечности требуется принадлежность $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$. Решением уравнения (8) (см. (4)) являются функции вида

$$\upsilon(x;\lambda) = \frac{1}{\sqrt{w'(x)}} (\lambda\xi(x)) Z_1(\lambda\xi(x)) , \tag{10}$$

где $\underline{Z}_1$ в (10) функция Бесселя порядка 1 [9. С. 179]. Основным является вопрос продолжения («склейки») решений уравнения (8) через точку $x = 0$ (неинтегрируемая особенность). Безусловно требование существования и единственности продолжения на весь интервал $[-\alpha; +\infty)$ решения, заданного, например, данными Коши в точке $x = -\alpha$ (или любой другой точке $x \neq 0$, $x \in [-\alpha; +\infty)$). «Естественное» продолжение обходом (в комплексной плоскости) точки $x = 0$ («аналитическое» продолжение) на практике не рассматривается, ибо приводит к «частично» комплексным решениям. В работе автора [7] требуемые условия получены:

1. $v(-0;\lambda) = v(+0;\lambda) = v(0;\lambda)$; (11)

2. $\forall v \exists \lim\limits_{x \to \pm 0} (v'(x;\lambda) / \ln|x|) = R_2(\lambda) = -2\lambda^2 v(0;\lambda)$; (12)

3. $(v'(x;\lambda) - R_2 \ln|x|)\big|_{+0} = (v'(x;\lambda) - R_2 \ln|x|)\big|_{-0} = v'_{reg}(0;\lambda)$. (13)

Причем $\upsilon(0; \lambda)$, $\upsilon'_{reg}(0; \lambda)$ играют роль начальных условий, решение $\upsilon(x; \lambda)$ при любом $x \in [-\alpha; +\infty)$ аналитично по λ в области аналитичности $\upsilon(0; \lambda)$, $\upsilon'_{reg}(0; \lambda)$ по λ. Любое решение, заданное на $[-\alpha; 0]$, однозначно продолжается вправо (и наоборот). Вронскиан любой пары решений, «склеенных» по принципу (11)-(13), не меняется на всем интервале $[-\alpha; +\infty)$. Из (11)-(13) следует, что если решение $\upsilon(x; \lambda) \in C^1[-\alpha; \beta]$, то

оно продолжается через $x = 0$ обычным образом. Заметим, что для решений уравнения (4) (с избранным продолжением) определена индефинитная форма $[g;f]_\beta$ вида

$$[g;f]_\beta = \int_{-\alpha}^{\beta} q\bar{g}f dx, \beta > 0 . \quad (14)$$

Условия (11)-(13) являются дополнительными для задачи (8)-(9). Условия (11)-(13) показывают вид дополнительных условий сопряжения решений при переходе через $x = 0$ для задачи (1)-(3), именно:

$$u(-0;\lambda) = u(+0;\lambda) ; \ \exists \lim_{x\to 0} u_x(x;t)/\ln|x| = R_2(t) ;$$
$$(u_x(x;t) - R_2 \ln|x|)|_{-0} = (u_x - R_2 \ln|x|)|_{+0} . \quad (15)$$

Введем в рассмотрение решения уравнения (4) вида:

$$\upsilon_j(x;\lambda) = \frac{1}{\sqrt{w'(x)}}(\lambda\xi(x))H_1^{(j)}(\lambda\xi(x)), j = 1,2 , \ x \in [0;+\infty) ;$$
$$V_j(x;\lambda) = \frac{1}{\sqrt{w'(x)}}(\lambda\xi(x))H_1^{(j)}(\lambda\xi(x)), j = 1,2 ,$$
$$x \in [-\alpha;0] ; \ W[\upsilon_1;\upsilon_2] = c\lambda^2 ; \ W[V_1;V_2] = c_1\lambda^2 ;$$
$$U(x;\lambda) = \upsilon_1(x;\lambda) , \ x \in [0;+\infty) , \ U \in L_{2,q}[1;+\infty) ;$$
$$y(x;\lambda) : y(-\alpha) = 0, y'(-\alpha) = 1 . \quad (16)$$

Отметим, что

$$\upsilon_j(x;\lambda) = O(q^{-1/4}(x)|\lambda|^{1/2} \exp((-1)^{j-1} \operatorname{Im}\lambda \cdot \xi(x)) , \ \operatorname{Im}\lambda \geq 0 , \ x \in [1;+\infty) ; \quad (17)$$

$$y(x;\lambda) = O(q^{-1/4}(x)|\lambda|^{-1} \exp(\operatorname{Im}\lambda \cdot \xi(x)) , \ \operatorname{Im}\lambda \geq 0 , \ x \in [1;+\infty) . \quad (18)$$

Причем оценка (17) может быть использована при $\forall\lambda$, $\operatorname{Im}\lambda \geq 0$, $x \to \infty$ и при $x \in [1; +\infty)$, $\operatorname{Im}\lambda \geq 0$, $\lambda \to \infty$. Оценка (18) может быть уточнена до оценки вида (17), если $\lambda = \lambda_m$ – собственное значение. Оценки (16)-(18) следуют из (4) и свойств бесселевых функций [9. С. 182, 190, 222].

Рассмотрим ядро резольвенты, связанной с задачей (8)-(9), (11)-(13):

$$G(x;t;\lambda) = y(x)U(t)/W[y;U] , \ x \leq t . \quad (19)$$

Мы здесь пока не уточняем область определения соответствующего оператора. При непосредственном контурном интегрировании будет определен круг функций, разлагающихся по соответствующему базису.

Оператор с ядром (19) изучаем аналогично рассмотрению, приведенному автором в работах [5-7] в подобной ситуации.

Исходя из свойств функций $y(x)$, $U(x)$ из (16), которые следуют из соответствующих свойств бесселевых функций [9. С. 182, 192] и из свойств характеристического определителя $\Delta(\lambda) = W[y, U] = -U(-\alpha; \lambda)$, получаем: $\lambda^2 \in [0; +\infty)$ ($\lambda \in (-\infty; +\infty)$) – область непрерывного спектра задачи (8)-(9), (11)-(13)), так как ядро (19) имеет скачок при переходе через луч ($\lambda^2 \in [0; +\infty)$). Кроме того, имеется бесконечный дискретный отрицательный спектр $\lambda^2 < 0$ (при $\theta(x) \leq 0$ комплексный спектр отсутствует – это предполагается в дальнейшем), совпадающий с λ_m^2, где λ_m – нули $\Delta(\lambda)$.

Асимптотику λ_m (из которой и следует бесконечность дискретного спектра) найдем далее. Характеристический определитель $\Delta(\lambda) = -U(-\alpha; \lambda)$ выписывается явно через функции Бесселя. Используя их асимптотические свойства [9. С. 222], получаем главный член асимптотики $\Delta(\lambda)$ при $\operatorname{Im}\lambda \geq 0$, $\lambda \to \infty$:

$$\Delta(\lambda) \cong c\lambda^{\omega}[d_1 e^{-\lambda|\xi(-\alpha)|} + d_2 e^{\lambda|\xi(-\alpha)|}] . \quad (20)$$

Из (20) следует, что $\Delta(\lambda)$, $\mathrm{Im}\lambda \ge 0$ – функция класса K [4. С. 318]. Из свойств функций класса K [4. С. 322] получаем асимптотику дискретного спектра λ_m и оценку $\Delta(\lambda)$ «снизу»:

$$\lambda_m = \frac{i\pi}{|\xi(-\alpha)|}[m - 1/4 + O(1/m)],\ m \to \infty; \tag{21}$$

$$|\Delta(\lambda)| = |U(-\alpha;\lambda)| \ge \delta|\lambda|^{\omega}[e^{-|\xi(-\alpha)|\mathrm{Re}\lambda} + e^{|\xi(-\alpha)|\mathrm{Re}\lambda}], \tag{22}$$

$$\mathrm{Im}\lambda \ge 0,\ |\lambda| \ge \lambda_0 >> 1.$$

Оценка (22) справедлива вне кружков сколь угодно малого фиксированного радиуса $\eta > 0$ с центрами в точках $\widetilde{\lambda}_m = \frac{i\pi}{|\xi(-\alpha)|}[m - 1/4]$.

Используя явное выражение ядра (10) через бесселевы функции, асимптотические свойства бесселевых функций [9. С. 222], неравенство (22) и методику оценки резольвенты в условиях наличия погранслоя, использованную автором в работах [5-7], получаем

$$|G(x;t;\lambda)| \le \frac{c}{|\lambda|} q^{1/4}(x) q^{1/4}(t) \exp[-\mathrm{Im}\lambda|\xi(x) - \xi(t)|],\ x \ge 1 \vee t \ge 1;$$

$$|G(x;t;\lambda)| \le \frac{c}{|\lambda|},\ x \le 1 \wedge t \le 1. \tag{23}$$

Оценка (23) имеет место в области выполнения неравенства (22), указанной выше (вне кружков).

В дальнейшем считаем, что $\theta(x) \le 0$, тогда спектр действителен, можно выбрать «нормированные» относительно формы (5) собственные функции $X_m(x)$ и справедливо

$$[X_{m_1}(x); X_{m_2}(x)] = 0,\ m_1 \ne m_2;\ [X_m; X_m] = -1;$$

$$|X_m(x)| \le c,\ \forall m,\ x \in [-\alpha;+\infty);\ |X_m(x)| \le ce^{-\varepsilon\xi(x)},\ x \ge 1,\ \varepsilon > 0;$$

$$[X(x;\lambda); X(x;\mu)] = \delta(\lambda - \mu);\ |X(x;\lambda)| \le c,\ x \in [-\alpha;+\infty),\ \lambda \in [0;+\infty). \tag{24}$$

В (24) $X(x; \lambda)$ – «собственные» функции, отвечающие непрерывному спектру $\lambda \in [0; +\infty)$.

§2. Разложение по собственным функциям. Решение краевой задачи. Пусть $q^{-1}l_\lambda u = f$, тогда $l_\lambda^{-1} q f = u$ (т.е. u «истокообразно» представима через ядро). Рассмотрим интеграл по расширяющимся контурам

$$\frac{1}{2\pi i}\int_{\Gamma_S} \frac{1}{\lambda} l_\lambda^{-1} q f d\lambda = \frac{1}{2\pi i}\int_{\Gamma_S} \frac{u}{\lambda} d\lambda, \tag{25}$$

где $\Gamma_S = C_S \cup [\rho; S] \cup \gamma_\rho \cup [-S; -\rho]$; C_S: $|\lambda| = S$, $\mathrm{Im}\lambda \ge 0$; γ_ρ: $|\lambda| = \rho$, $\mathrm{Im}\lambda \ge 0$. Контур Γ_S обходится против часовой стрелки, подразумевается, что $\rho \to 0$, $S \to \infty$. Особенности резольвенты (ядра (19)) – полюсы λ_m и скачок на разрезе $\lambda^2 \in [0; +\infty)$ ($\mathrm{Im}\lambda = 0$). Мы не будем здесь полностью разбирать метод контурного интегрирования, отсылая к работе автора [7]. Используются (23)-(24).

Укажем результат:

$$\forall u: \qquad u = \sum_{m=1}^{\infty} u_m X_m(x) + \int_0^{+\infty} A_u(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda, \tag{26}$$

$$u_m = [X_m(x); u(x)],\ A_u(\lambda) = [X(x;\lambda); u(x)]. \tag{27}$$

Сходимость в (26) равномерна на каждом конечном *интервале*. Здесь мы не обсуждаем вопросы, связанные с распространением (26)-(27) на все пространство $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$ и

описанием всего множества разлагаемых функций u. Поскольку строим гладкие (классические) решения исходной краевой задачи (обобщенные решения – не рассматриваем). Поэтому u считаем достаточно гладкими, обращающимися в нуль при $x = 0$ (возможно, с некоторыми производными) и достаточно быстро стремящимися к нулю на бесконечности. Для таких u метод контурного интегрирования при выводе формул (26)-(27) заведомо проходит [7]. Можно даже, при необходимости, вывести аналог равенства Парсеваля. В этой статье это не рассматривается.

Введем множество $D' = D^q \cup D^s$, где D^q – множество тех $u \in L_{2,q}$ в (26), для которых

$$\sum_m (|u_m| m^\tau) < \infty \wedge \int_0^{+\infty} |A_u(\lambda)| \lambda^\tau d\lambda < \infty,\ \tau = 0, 1, 2. \tag{28}$$

Уже говорилось о предполагаемых свойствах функций u. Здесь для компактности изложения не рассматриваются достаточные условия на u, обеспечивающие (28). Хотя формулируются достаточно просто, но их обоснование технически громоздко.

Множество D^s – множество всевозможных сумм вида $\sum_m C_m X_m(x) + \int_0^{+\infty} C(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda$, где

$$\sum_m (|C_m| m^\tau) < \infty \wedge \int_0^{+\infty} |C(\lambda)| \lambda^\tau d\lambda < \infty. \tag{29}$$

Из (28)-(29) ясно, что классы D^q и D^s пересекаются. Мы специально выделяем D^q, ибо для него можно указывать разные достаточные условия принадлежности функций этому классу. Класс D^s описывается вполне конструктивно.

Очевидно, что для класса D' имеют смысл и выполняются (11)-(13), функции этого класса принадлежат $C[-\alpha; +\infty) \cap (C^2[-\alpha; 0) \cup C^2(0; +\infty))$. Класс D' представим в виде

$$D' = D'_- + D'_+ ;\ D_- : \sum_m C_m X_m ;\ D_+ : \int_0^{+\infty} C(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda. \tag{30}$$

В (30) сумма $D'_- + D'_+$ ортогональна относительно формы (5), $\forall g \in D'$: $g = g_- + g_+$, $g_- \in D'_-$, $g_+ \in D'_+$, $g_- \perp g_+$ (относительно (5)), g_-, g_+ определяются однозначно, $[g_-; g_-] < 0$, $[g_+; g_+] \geq 0$. Отметим, что, если $u \in L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$, «проекции» g_-, g_+ не обязательно принадлежат этому пространству (из-за их поведения около $x = 0$).

Замечание. Вообще говоря, на D' имеет место аналог равенства Парсеваля (оно для нас не является необходимым, ибо строим классические решения со стандартным выполнением граничных условий), поэтому и не приводим его здесь.

Теперь построим пока формальное решение задач (1)-(3), (15). Предположим дополнительно, что $\varphi(x)$, $\psi(x)$ в (2) принадлежат D', т.е.

$$\varphi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} \varphi_m X_m(x) + \int_0^{\infty} A_\varphi(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda, \tag{31}$$

$\psi(x)$ – разлагается аналогично. Из (7) следует, что решение задачи (1)-(3) имеет вид

$$u(x;t) = u_-(x;t) + u_+(x;t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_m(t) X_m(x) + \int_0^{+\infty} T_\lambda(t) X(x;\lambda) d\lambda, \tag{32}$$

$$T_m(t) = \varphi_m \cos|\lambda_m| t + \frac{\psi_m - \varphi_m \cos(|\lambda_m| T)}{\sin|\lambda_m| T} \sin|\lambda_m| t ; \tag{33}$$

$$T_\lambda(t) = (1 - e^{-2\lambda T})^{-1} [(A_\varphi - A_\psi e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t} + (A_\psi - A_\varphi e^{-\lambda T}) e^{\lambda(t-T)}]. \tag{34}$$

В силу (28) – (29), (34)

$$u_+(x;t) \in C([-\alpha;+\infty) \times [0;T]) \cap (C^2[[-\alpha;0) \times [0;T]] \cap C^2[(0;+\infty) \times [0;T]]),$$

$|u_+(x; t)| \leq C$ и $u_+(x; t)$ удовлетворяет условиям (15). Что касается $u_-(x; t)$, т.е. (33), то эта часть решения имеет такую же гладкость при выполнении условия

$$|\sin|\lambda_m|T| \geq \delta_1 > 0\,. \tag{35}$$

Вообще, условие существования функции из (33) есть

$$|\lambda_m|T \neq \pi n\,, \tag{36}$$

что соотносится с соответствующими условиями в [2, 3]. Дополнительно предположим, что условие (36) может нарушаться только для конечного числа $m \in M$ ($n \in N$) и, кроме того, при $m \Subset M : \|\lambda_m|T - \pi n| \geq \delta_2 > 0$ (тогда выполняется и (35)). Достаточным условием выполнения этого дополнительного требования, например, является следующее: пусть $T/|\xi(-\alpha)| = k/s$ – несократимая рациональная дробь, тогда вышеуказанное дополнительное условие выполняется при нечетном k – это следует из асимптотики (21). Иные достаточные условия здесь не рассматриваются, данное – достигается небольшой вариацией входных параметров решаемой задачи. В силу непрерывности $u(x; t)$ вплоть до границы граничное условие (2) выполняется стандартным образом.

Если (36) нарушается (для конечного числа $m \in M$), тогда должно быть:

$$\varphi_m, \psi_m = 0, m \in M\ \text{, т.е. } \varphi(x), \psi(x) \perp X_m(x), m \in M\,. \tag{37}$$

Ортогональность в (37) – относительно формы [5]. При выполнении (37) анализ решения аналогичен сделанному выше. Задача (1)-(2)-$(3)_0$, (15) решена, для вышеуказанного класса граничных функций $\varphi(x)$, $\psi(x)$. Решение в данном классе граничных условий единственно (с учетом (37)). Это следует из базисности набора собственных функций (24). Подробнее здесь на этом вопросе не останавливаемся.

Решим задачу (1)-$(2)_0$-(3), (15). Из (7) получаем

$$T_n(t) = \sqrt{2/T}\,\sin\frac{\pi n t}{T}, n = \overline{1,\infty}\,. \tag{38}$$

Для $X_n(x)$ из (7) получаем теперь

$$-X_n'' - \lambda_n^2 q(x) X - \theta(x) X_n = 0,\ \lambda_n^2 = -\left(\frac{\pi n}{T}\right)^2, \tag{39}$$

$$X_n(-\alpha) = 1,\ |X_n(x)| \leq C.$$

Если выполняется (36), то в качестве $X_n(x)$ можно взять (см. (16))

$$X_n(x) = U\left(x; i\frac{\pi n}{T}\right) / U\left(-\alpha; i\frac{\pi n}{T}\right). \tag{40}$$

В силу дополнительных к (36) требований $\lambda_n = i\pi n/T$ попадает в область выполнения неравенства (22), поэтому $|X_n(x)| < C$ – равномерно ограничены, более того при $x \geq 1$: $|X_n(x)| \leq Cq^{-1/4}(x)\mathrm{e}^{-\varepsilon\xi(x)}$, $\varepsilon > 0$ – малое фиксированное число.

Решение задачи (1)-$(2)_0$-(3), (15) имеет вид

$$u(x;t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n T_n(t) X_n(x)\,, \tag{41}$$

где a_n – коэффициенты разложения $a(t)$ по базису Фурье $T_n(t)$, $n = \overline{1,\infty}$. Если $a(t) \in C^3[0; T]$, $a''(0) = a''(T) = 0$ (в дополнение к ранее наложенным на $a(t)$ условиям), то $\sum_n n^{\tau}|a_n| < \infty, \tau = 0, 1, 2$. Тогда для решения (41) выполняется (15) и

$$u_1(x;t) \in C[[0;T]\times[-\alpha;\infty)] \cap \left(C^2[[0;T]\times[-\alpha;0)] \cup C^2[[0;T]\times(0;\infty)]\right).$$

Причем имеем $|u(x; t)| \leq Cq^{-1/4}(x)\mathrm{e}^{-\varepsilon\xi(x)}$, $x \geq 1$.

Если (36) нарушается (для конечного числа $n \in N$), то должно быть: $a_n = 0$, $n \in N$, т.е. $a(t) \perp T_n(t)$, $n \in N$ (ортогональность в метрике $L_2[0; T]$). Анализ решения такой же, как прежде. Задача (1)-$(2)_0$-(3), (15) решена. Здесь не рассматривается вопрос единственности решения, определяемый базисностью набора функций и единственностью решения краевых задач, как достаточно очевидный.

§ 3. Ограниченный случай. Прямоугольник. Рассмотрим уравнение (1) на прямоугольнике $B_\beta = [-\alpha; \beta]\times[0; T]$, $\beta > 0$. Условия на коэффициенты остаются в силе, но только теперь отнесены к отрезку$[-\alpha; \beta]$. Граничное условие теперь имеет вид (аналог (2)):

$$u(x;0) = \varphi(x)\,,\ u(x;T) = \psi(x)\,,\ x \in [-\alpha;\beta]\,, \tag{42}$$

где $\varphi(x)$, $\psi(x) \in C[-\alpha; \beta]$, $\varphi(-\alpha) = \varphi(\beta) = \psi(-\alpha) = \psi(\beta) = 0$. В дальнейшем требования на φ, ψ будут уточнены. Условие (3) теперь:

$$u(-\alpha; t) = a(t)\,,\ u(\beta;t) = b(t)\,, \tag{43}$$

где $a(t)$, $b(t) \in C^2[-\alpha; \beta]$; a, $b = 0$ при $t = 0$, T. Здесь также используются функции, заданные в (4), пространство $L_{2,q}[-\alpha;\beta]$ с общей метрикой $(g; f)_\beta = \int\limits_{-\alpha}^{\beta} |q| \overline{g} f dx$ и индефинитной метрикой $[g; f]_\beta$ (см. (14)).

Условия (11)-(13) продолжения решений уравнения (8) при переходе через точку $x = 0$ носят локальный характер и здесь мы их по-прежнему используем. Следовательно, для задачи (1), (42), (43) необходимо использовать еще дополнительные условия (15) сопряжения решений при переходе через линию $x = 0$.

Разделение переменных $u(x; t) = X(x)T(t)$, как и ранее, приводит к соотношению (7).

Рассмотрим задачу (1), (42), $(43)_0$, (15). Из (7) получается спектральная задача, связанная с уравнением (8) и граничным условием:

$$X(-\alpha) = 0\,,\ X(\beta) = 0. \tag{44}$$

Спектральная задача (8), (44), (11) – (13) изучена автором в работе [7]. Здесь будут приведены только необходимые сведения. Спектральная задача (8), (44), (11)-(13) (оператор $l_\lambda^\beta u = -u'' - \lambda^2 q u - \theta(x)u$, $u(-\alpha) = u(\beta) = 0$) имеет чисто дискретный, в основном, действительный (при $\theta(x) \le 0$ – только действительный) спектр, состоящий из двух бесконечных ветвей $\lambda_{-m}^2 < 0, \lambda_{+m}^2 > 0$ асимптотиками: (21) для λ_{-m}; для λ_{+m}, соответственно,

$$\lambda_{+m} = \frac{\pi}{\xi(\beta)}[m - 1/4 + O(1/m)],\ m \to \infty. \tag{45}$$

Для компактности изложения предположим, что $\theta(x) \le 0$ и, следовательно, спектр только действительный.

Характеристический определитель задачи (8), (44), (11)-(13) имеет вид

$$\Delta(\lambda) = -U(-\alpha; \lambda) = y(\beta; \lambda),$$

где $y(x; \lambda)$ аналогично предыдущему (см. (16)), $U(x; \lambda)$: $U(\beta) = 0$, $U'(\beta) = 1$. Для $\Delta(\lambda)$ справедлива следующая асимптотика (главный член):

$$\Delta(\lambda) \cong c\lambda^\chi \left[g_1 e^{-\Omega_1} + g_2 e^{\Omega_1} + g_3 e^{\overline{\Omega}_1} + g_4 e^{-\overline{\Omega}_1}\right], \tag{46}$$

$$\Omega_1 = +\lambda|\xi(-\alpha)| + i\lambda\xi(\beta)\,,\ -\varepsilon \le \arg\lambda \le \pi + \varepsilon, 0 < \varepsilon < \pi/2, \lambda \to \infty\,.$$

Отметим, что $\Delta(\lambda)$ является функцией класса K [4. С. 318, 322]. Для $\Delta(\lambda)$ имеет место оценка «снизу»

$$|\Delta(\lambda)| \ge \delta(\eta)\left[e^{\Omega_2} + e^{-\Omega_2} + e^{\Omega_3} + e^{-\Omega_3}\right]|\lambda|^\chi;$$

$$\Omega_2 = |\xi(-\alpha)|\operatorname{Re}\lambda + \xi(\beta)\operatorname{Im}\lambda\,,\ \Omega_3 = |\xi(-\alpha)|\operatorname{Re}\lambda - \operatorname{Im}\lambda\cdot\xi(\beta), \tag{47}$$

$\delta(\eta) > 0$, $-\varepsilon \le \arg\lambda \le \pi + \varepsilon$, $|\lambda| \ge \lambda_0 >> 1$ вне кружков сколь угодно малого фиксированного радиуса $\eta > 0$ с центрами в точках $\widetilde{\lambda}_{+m}$ и $\widetilde{\lambda}_{-m}$.

Для любой функции g из области определения оператора $l_\lambda^\beta u$ имеет место разложение в равномерно сходящийся ряд $g = \sum\limits_{m=1}^{\infty} g_{-m} X_{-m}(x) + g_{+m} X_{+m}(x)$,

$$g_{\pm m} = [X_{\pm m}(x); g(x)]_\beta. \tag{48}$$

В (48) $X_{\pm m}(x)$ – собственные функции, «нормированные» с использованием формы (14) $[\cdot;\cdot]_\beta$. Эти функции «ортогональны» относительно индефинитной формы $[\cdot;\cdot]_\beta$:

$$[X_k; X_s]_\beta = 0, k \neq s\ ;\ [X_{-m}; X_{-m}]_\beta = -1\ ;\ [X_{+m}; X_{+m}]_\beta = 1\ . \tag{49}$$

Кроме того, $X_{\pm m}(x)$ равномерно ограничены по $x \in [\alpha; \beta]$ и m, т.е. $|X_{\pm m}(x)| \le C$.

Введем пространство функций $D_\beta^1 = D_\beta^q \cup D_\beta^s$, где $D_\beta^q \subset L_{2,q}[-\alpha;+\infty)$: $\sum\limits_m m^\tau |g_{\pm m}| < \infty$. Функции из D_β^s – суммы рядов $\sum\limits_m C_{\pm m} X_{\pm m}(x)$, таких, что $\sum\limits_m m^\tau |C_{\pm m}| < \infty, \tau = 0, 1, 2$. Очевидно, что функции из D_β^1 удовлетворяют условиям (11)-(13). Формальное решение задачи (1), (42), $(43)_0$, (15) имеет вид

$$u(x;t) = u_-(x;t) + u_+(x;t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_{\pm m}(t) X_m(x)\,, \tag{50}$$

$$T_{+m}(t) = \frac{\varphi_{+m} - \psi_{+m} e^{-\lambda_{+m} T}}{1 - e^{-2\lambda_{+m} T}} e^{-\lambda_{+m} t} + \frac{\psi_{+m} - \varphi_{+m} e^{-\lambda_{+m} T}}{1 - e^{-2\lambda_{+m} T}} e^{\lambda_{+m}(t-T)}\,, \tag{51}$$

$$T_{-m}(t) = \varphi_{-m} \cos(|\lambda_{-m}| t) + \frac{\psi_{-m} - \varphi_{-m} \cos(|\lambda_{-m}| T)}{\sin(|\lambda_{-m}| T)} \sin(|\lambda_{-m}| t)\,. \tag{52}$$

Пусть $\varphi(x), \psi(x) \in D_\beta^1$, тогда из (50)-(52) следует

$$u_+(x;t) \in C([-\alpha;\beta]\times[0;T]) \cap \left(C^2([-\alpha;0)\times[0;T]) \cup C^2((0;\beta]\times[0;T])\right)$$

и удовлетворяет условиям (15). Если потребовать, чтобы

$$|\sin(|\lambda_{-m}| T)| \ge \delta_1 > 0\,, \tag{53}$$

это же утверждение справедливо и для $u_-(x; t)$. Тем самым задача (1), (42), $(43)_0$, (15) решена.

Остановимся на условии (53). Условие существования формального решения (50)-(51) $u_-(x; t)$ имеет вид

$$|\lambda_{-m}| T \neq \pi n\,. \tag{54}$$

Условие (54) соотносится с условием в [2] и условием в [3]. Предположим, дополнительно, что (54) может нарушаться только для конечного числа индексов $-m \in M$ (конечного числа $n \in N$) и что для $-m \notin M$ ($n \notin N$), где M может быть и пусто, выполняется $\|-\lambda_m| T - \pi n| \ge \delta_2 > 0$, т.е. выполняется (53). Мы здесь не анализируем все возможные достаточные условия для выполнения дополнительного к (54) предположения. Укажем лишь одно: $T/|\xi(-\alpha)| = s/k$ – рациональная дробь и s – нечетное число (это следует из асимптотики (21)).

Если (54) нарушается, по условию, для конечного числа $-m \in M$, то должно быть: φ_{-m}, $\psi_{-m} = 0$, $-m \in M$, т.е. $\varphi(x)$, $\psi(x)$ ортогональны относительно формы (14) $[\cdot;\cdot]_\beta$ к конечномерному подпространству, натянутому на векторы $X_{-m}(x)$, $-m \in M$. Тогда опять-таки получается решение вышеуказанной гладкости. Полученное решение в рассматриваемом классе начальных условий, а значит, и решений (с учетом (54)) единственно.

Рассмотрим теперь задачу (1), $(52)_0$, (53), (15). Функции

$$\{T_n(t) = \sqrt{2/T} \sin \pi n t / T, n = \overline{1,\infty}\}$$

являются решениями уравнения (8) для $T(t)$: $\langle T_n(0) = T_n(T) = 0\rangle$. Соответствующие уравнения (8) для $X_n(x)$:

$$-X''_n - \left(\frac{\pi n}{T}\right)^2 q(x) X_n - \theta(x) X_n = 0. \tag{55}$$

Если выполняется условие (54), то определены решения уравнения (55):

$$y_n^{left}(x) = U\left(x; i\frac{\pi n}{T}\right) / U\left(-\alpha; i\frac{\pi n}{T}\right),\ y_n^{right}(x) = y\left(x; i\frac{\pi n}{T}\right) / y\left(\beta; i\frac{\pi n}{T}\right).$$

Отметим, что, в силу определения y, U: $y_n^{left}(-\alpha) = 1$, $y_n^{left}(\beta) = 0$, $y^{right}(-\alpha) = 0$, $y^{right}(\beta) = 1$. Если выполняются дополнительные к (54) условия, то $\lambda_n = i\frac{\pi n}{T}$ при $n >> N_0 >> 1$ попадает в область действия неравенства (47) (для $\Delta(\lambda)$, $y(\beta; \lambda)$, $U(-\alpha; \lambda)$) при соответствующем выборе $\eta > 0$. Поэтому y^{left}, y^{right} равномерно ограничены, т.е. $\forall x \in [-\alpha; \beta]$, n: $\left|y_n^{left}(x), y_n^{right}(x)\right| \le C$.

Далее предположим дополнительно, что

$$a(t), b(t) \in C^3[-\alpha;\beta] \wedge a''(0) = a''(T) = b''(0) = b''(T) = 0,$$

тогда $\sum\limits_n n^\tau (|a_n| + |b_n|) < \infty, \tau = 0, 1, 2$ – это следует из теории рядов Фурье.

Решение задачи (1), $(52)_0$, (53), (15) имеет вид:

$$u_1(x;t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t)\left[a_n y_n^{left}(x) + b_n y_n^{right}(x)\right]. \qquad (56)$$

При вышеуказанных условиях

$$u_1(x;t) \in C[[-\alpha;\beta]\times[0;T]] \cap \left(C^2[[-\alpha;0)\times[0;T]] \cap C^2[(0;\beta]\times[0;T]]\right).$$

Если условие (54) нарушается для конечного числа $-m \in M$, значит, для конечного числа $n \in N$, то, очевидно, требование a_n, $b_n = 0$, $n \in N$, т.е. $a(t)$, $b(t) \perp \{T_n(t), n \notin N\}$, ортогональность в метрике $L_2[0; T]$. При выполнении данного условия решение (56) также имеет вышеуказанную гладкость.

Единственность найденных решений следует из базисности $X_{\pm m}(x)$ (либо $T_n(t)$) и единственности решения соответствующих краевых задач. Подробнее эти вопросы здесь не рассматриваются.

Литература

1. *Азизов Т.Я., Иохвидов И.С.* Основы теории линейных операторов в пространствах с индефинитной метрикой. М.: Наука, 1986.

2. *Нахушев А.М.* Критерий единственности задачи Дирихле для уравнений смешанного типа // Дифференциальные уравнения. 1970. Т. 6, № 1. С. 190-191.

3. *Сабитов К.Б., Сулейманова А.Х.* Задача Дирихле для уравнений смешанного типа второго рода в прямоугольной области // Известия вузов. Сер. Математика. 2007. № 4. С. 45-52.

4. *Садовничий В.А.* Теория операторов. М.: Высш. шк., 1999.

5. *Стакун А.А.* Краевые задачи, связанные с дифференциальными операторами с точкой поворота // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 32-40.

6. *Стакун А.А.* О свойствах дифференциального оператора с кратной точкой поворота // Дифференциальные уравнения. 1987. Т. 23, № 6. С. 993-999.

7. *Стакун А.А.* Спектральные свойства дифференциального оператора с особенностью типа полюса // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. Вып. 15. С. 61-68.

8. *Франкль Ф.И.* Избранные труды по газовой динамике. М.: Наука, 1973.

9. *Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.* Специальные функции. М.: Наука, 1968.

СТАКУН АЛЬФРЕД АНТОНОВИЧ – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (asail1@mail.ru).

STAKUN ALFRED ANTONOVICH – kandidat of physics and mathematical sciences, assistant professor of Higher Mathematics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 517.95
ББК В161.62

А.А. СТАКУН

ЗАДАЧА ДИРИХЛЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЧАПЛЫГИНА

Ключевые слова: *оператор, резольвента, дискретный спектр, индефинитная метрика, собственные функции, асимптотика, спектральное разложение, краевая задача, уравнения смешанного типа, задача Дирихле.*

Решена задача Дирихле для уравнения Чаплыгина на прямоугольнике. Использованы полученные автором результаты для дифференциальных операторов в пространстве с индефинитной метрикой с двумя точками перехода.

A.A. STAKUN

THE DIRICHLET BOUDERY PROBLEM, ASSOCIATED WITH DIFFERENTIAL EQUATIONS ABOUT TWO TURNING POINTS

Key words: *operator, resolvent, discrete spectra, indefinite metric, eigenfunctions, asymptotic, expansion, boundary problem, equations about a different type, Dirichlet problem.*

The present article considers the Dirichlet problem for some equation about a different. The indefinite inner product is useful for classification of this problem. The consideration concerned with the author's article associated with spectral theory of a differential operator about two turning point.

§ 1. Спектральные свойства оператора. Изучается оператор (краевая задача)

$$l_\lambda u = -u'' - \lambda^2 q(x)u - R(x)u, \quad x \in [-\alpha;\beta]; \tag{1}$$

$$q(x) = xr(x), \quad x > -a, \ r(x) > 0;$$

$$q(x) = (x+a)r_1(x), \quad x < 0, \ -r_1(x) > 0;$$

$$R(x) \in C[-a;\beta]; \ \ r(x) \in C^2(-\alpha;\beta), \ \ r(x) \le c;$$

$$r_1(x) \in C^2[-\alpha;0], \ \ -r_1(x) \le c; \ \ \alpha,\beta,a > 0; \tag{2}$$

$$u(-\alpha) = 0, \ \ u(\beta) = 0, \tag{3}$$

где λ – спектральный параметр. Оператор (1) связан с изучением краевых задач для уравнения Чаплыгина [10. С. 304], связанных с моделированием в аэродинамике больших скоростей.

В работах автора [7, 8] построены асимптотики решений уравнения $l_\lambda u = 0$ в окрестности каждой из точек поворота $x = 0$, $x = -a$ вида

$$u(x;\lambda) \cong A(x;\lambda)\upsilon(x;\lambda) + \frac{B(x;\lambda)}{\lambda^2}\upsilon'(x;\lambda), \tag{4}$$

$$A(x;\lambda) \cong \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a_k(x)}{\lambda^k}, \ \ B(x;\lambda) = \sum_{k=0} \frac{b_k(x)}{\lambda^k}, \ \ a_0 \equiv 1, \ \ a_1(x) \equiv 0,$$

$$b_0(x) = q^{-1/2} \int_0^x \frac{F(t)}{2\sqrt{q(t)}} dt, \ \ b_1(x) \equiv 0, \ldots .$$

При этом предполагается, что коэффициенты в (1) класса C^∞ (в соответствующей области). При обрывании ряда в (4) остаточный член равномерен (по x и λ). Асимптотики можно дифференцировать. В нашем рассмотрении используются только первые члены, т.е. $u(x;\lambda) = \upsilon(x;\lambda) + O\left(\frac{1}{\lambda^2}[|\upsilon(x;\lambda)| + |\upsilon'(x;\lambda)|]\right)$. Поэтому требования на гладкость коэффициентов – соответствующие. В (4) $\upsilon(x;\lambda)$ есть решение уравнения

$$-\upsilon''-\lambda^2 q(x)\upsilon-\theta_{0,1}(x)\upsilon=0; \tag{5}$$

$$\theta_{0,1}(x)=-\sqrt{\omega'_{0,1}(x)}(1/\sqrt{\omega'_{0,1}(x)})''; \quad \omega_{0,1}(x)=\left(\frac{3}{2}\xi_{0,1}(x)\right)^{2/3};$$

$$\xi_0(x)=\int_0^x\sqrt{q(t)}dt, \quad \arg\xi_0=0, \quad x\ge 0, \quad \arg\xi_0=\frac{3}{2}\pi, \quad x<0;$$

$$\xi_1(x)=\int_{-a}^x\sqrt{-q(t)}dt; \tag{6}$$

$$\upsilon(x;\lambda)=(\omega_0'(x))^{-1/2}(\lambda\xi_0(x))^{1/3}Z_{1/3}(\lambda\xi_0(x)); \tag{7}$$

$$\upsilon(x;\lambda)=(\omega_1'(x))^{-1/2}(-i\lambda\xi_1(x))^{1/3}Z_{1/3}(-i\lambda\xi_1(x)). \tag{8}$$

В формулах (7)-(8) $Z_{1/3}$ – функция Бесселя порядка 1/3 [11. С. 179]. Решение (7) используется для $x\in[-\alpha+\varepsilon;\beta]$ решение (8) – на $[-\alpha;-\varepsilon]$, где $\varepsilon>0$ – любое (малое) фиксированное число. Решения (4) «склеиваются» в точке $x_0\in(-a;0)$.

Нам понадобятся сведения из теории функций класса K [5. С. 318] и из теории операторов в пространствах с индефинитной метрикой [1. С. 14].

Ядро резольвенты оператора (1)-(3) (краевой задачи (1)-(3)) имеет вид

$$G(x;t;\lambda)=y(x)U(t)/w[y,U], x\le t, \tag{9}$$

для $x>t$ выражение для G симметрично. В (9) y, U – решения уравнения $l_\lambda u=0$, для которых $y^{(k)}(-\alpha;\lambda)=\delta_{1k}$, $U^{(k)}(\beta;\lambda)=\delta_{1k}$, $k=0,1$ (либо просто $y'(-\alpha)\ne 0$, $U'(\beta)\ne 0$).

Отметим, что $-y'(-\alpha)U'(-\alpha)$ или $y'(\beta)U'(\beta)$ могут играть роль характеристического определителя задачи (оператора) (1)-(3). Из (9) следует, что спектр оператора (1)-(3) дискретен, его собственными числами являются нули $\Delta(\lambda)=w[y;U]$. Задача (1)-(3) находится в пределах действия леммы о спектре, приведенной в работе автора [6]. В общем случае спектр оператора (1)-(3), в основном, действительный, за исключением, быть может, конечного числа взаимно сопряженных комплексных собственных значений $\lambda_s^2,\overline{\lambda_s^2}$ (отвечающие или собственные векторы – нейтральны [1. С.13, 34]). Все рассмотрения данной работы проходят для общего случая, но для компактности изложения ограничимся случаем $R(x)\le 0$, при котором комплексный спектр отсутствует.

Рассмотрения проводят в пространстве $L_{2,q}[-\alpha;\beta]$ с обычной и индефинитной метриками вида:

$$(f;g)=\int_{-\alpha}^{\beta}|q(x)|\overline{f}(x)g(x)dx; \tag{10}$$

$$[f;g]=\int_{-\alpha}^{\beta}q(x)\overline{f}(x)g(x)dx. \tag{11}$$

Используя разложения (4), «сшивку» решений (асимптотик) уравнения $l_\lambda u=0$ в некоторой точке $x_0\in(-a;0)$ и асимптотические свойства функций Бесселя (подробнее см. [9], где автором рассмотрена аналогичная ситуация), получим асимптотическое представление характеристического определителя $\Delta(\lambda)$ задачи (1)-(3) (главный член асимптотики):

$$\Delta(\lambda)\cong c\lambda^{\chi}[e^{-\lambda\xi_+-\lambda\xi_a}-e^{i\lambda\xi_+-\lambda\xi_a}+e^{-i\lambda\xi_+-\lambda\xi_a}], \tag{12}$$

где $-\frac{\pi}{2}+\varepsilon\le\arg\lambda\le\frac{3}{2}\pi-\varepsilon$, $\lambda\to\infty$. Остаточный член равномерен (по λ) и $\xi_a=\int_{-a}^0\sqrt{|q(x)|}dx$, $\xi_+=|\xi_1(\alpha)|+\xi_0(\beta)$.

Из (12), используя свойства функций класса K [5. С. 320], получаем, что действительный спектр оператора (1)-(3) не ограничен в обе стороны и имеют место асим-

птотические формулы для $\lambda_{-m}^2 < 0$ и $\lambda_{+m}^2 > 0$-собственных значений оператора (1)-(3) при $m \to \infty$:

$$\lambda_{-m} = i\frac{\pi}{\xi_a}\left[m + c_- + O\left(\frac{1}{m}\right)\right], \quad c_- = -\frac{1}{2}, \tag{13}$$

$$\lambda_{+m} = \frac{\pi}{\xi_+}\left[m + c_+ + O\left(\frac{1}{m}\right)\right], \quad c_+ \geq 0. \tag{14}$$

Кроме того, из свойств функций класса K [5. С. 322] следует, что при $|\lambda| \geq \lambda_0 >> 1$ вне кружков сколь угодно малого фиксированного радиуса $\eta > 0$ с центрами в точках $\lambda'_{-m} = i\frac{\pi}{\xi_a}\left[m - \frac{1}{2}\right]$, $\lambda'_{+m} = \frac{\pi}{\xi_+}[m + c_+]$ имеет место оценка снизу

$$|\Delta(\lambda)| \geq \delta|\lambda|^{\chi}[e^{\xi_+|\mathrm{Re}\lambda|} + e^{\xi_a|\mathrm{Im}\lambda|}]. \tag{15}$$

Оценка, аналогичная (15), имеет место и в плоскости λ^2.

Из (9), (4), (13), (14), (15), используя разработанную автором методику оценки ядра резольвенты при наличии пограничного слоя (см. [7, 8] и, особенно, работу [9]), получаем следующую оценку ядра резольвенты (9)

$$|G(x;t;\lambda)| \leq C/|\lambda|, \tag{16}$$

естественно, при $|\lambda| \geq \lambda_0$ и вне вышеуказанных кружков с центрами $\lambda'_{+m}, \lambda'_{-m}$.

Если $R(x) \leq 0$, то из (1)-(3) следует, что отрицательному собственному значению $\lambda_{-m}^2 < 0$ отвечает отрицательный собственный вектор $u_{-m}(x; \lambda_{-m})$ в индефинитной метрике (11), т.е. $[u_{-m}; u_{-m}] < 0$, соответственно:

$$\lambda_{+m}^2 > 0 \; - [u_{+m}(x;\lambda_{+m}); u(x;\lambda_{+m}] > 0.$$

Кроме того, легко показать, что собственные векторы, отвечающие различным собственным значениям, ортогональны в индефинитной метрике (11). Введем нормированные (в метрике (11)) собственные векторы $X_{\pm m}(y) = u_{\pm m}/|[u_{\pm m}; u_{\pm m}]|^{1/2}$, тогда имеем

$$[X_k; X_s] = \mathrm{sign}(k) \cdot \delta_{ks}, \tag{17}$$

где δ_{ks} – символ Кронекера (дискретная δ-функция). Отметим еще (см. [8, 9]), что $|X_{\pm}(x)| \leq c$, т.е. равномерно ограничены.

Используя стандартный метод контурного интегрирования [7, 9], получим для любой $f \in C^2[-\alpha; \beta], f(-\alpha) = f(\beta) = 0$ разложение в равномерно сходящийся ряд

$$f(x) = \sum_{m=1}^{\infty} f_{-m} X_{-m}(x) + \sum_{m=1}^{\infty} f_{+m} X_{+m}(x), \quad f_{\pm m} = [X_{\pm m}; f], \tag{18}$$

при этом имеет место аналог равенства Парсеваля

$$[f(x); f(x)] = -\sum_{m=1}^{\infty} |f_{-m}|^2 + \sum_{m=1}^{\infty} |f_{+m}|^2. \tag{19}$$

Разложения (18)-(19) стандартным образом распространяется на все $L_{2,q}[-\alpha; \beta]$, только сходимость в (18) в общем случае будет в метрике (10) при сохранении (19).

Исходя из метрик (10) – (11), отметим, что $L_{2,q}[-\alpha; \beta]$ разлагается в ортогональную (в метрике (11)) сумму положительного и отрицательного подпространств: $L_{2,q} = \Pi_1 + \Pi_2$; соответственно компонентам векторов: $f(x) = f_1(x) + f_2(x)$; $f_1(x) = f(x)$, $x \leq 0$, $f_1(x) \equiv 0$, $x > 0$; $f_2(x) \equiv 0$, $x < 0$, $f_2(x) = f(x)$, $x > 0$. Оператор (1)-(3), как следует из (18)-(19), порождает другое разложение

$$L_{2,q}[-\alpha; \beta] = \Pi_- + \Pi_+, \tag{20}$$

ортогональное в метрике (11), где $f(x) = f_-(x) + f_+(x)$, $f_-(x) = \sum_m f_{-m} X_{-m}(x)$, $f_+(x) = \sum_m f_{+m} X_{+m}(x)$.

Замечание 1. Нетрудно показать (см. подробнее [9]), что если $f(x) \in C^4[-\alpha; \beta]$, $f^{(k)}(-\alpha) = f^{(k)}(\beta)$, $k = 0, 1, 2, 3$, то в (18) $f_{\pm m} = O(1/m^4)$, $m \to \infty$.

§ 2. Задача Дирихле на прямоугольнике. Рассмотрим задачу Дирихле для уравнения типа Чаплыгина [10. С. 303], ассоциированную с оператором (1)-(3), а именно:

$$q(x)u_{tt} + u_{xx} + R(x)u = 0\,,\ x \in [-\alpha; \beta]\,,\ t \in [0; T]\,,$$

$$D = [-\alpha; \beta] \times [0; T]\,; \tag{21}$$

$$u(x; 0) = \varphi(x)\,,\ u(x; T) = \psi(x)\,; \tag{22}$$

$$u(-\alpha; t) = a(t)\,,\ u(\beta; t) = b(t)\,. \tag{23}$$

Задача (21)-(23) – смешанного типа, уравнение (21) – эллиптично при $q(x) > 0$ и гиперболично при $q(x) < 0$.

Для начала предположим, что все граничные функции в (22)-(23) непрерывны на соответствующих отрезках и на концах этих отрезков обращаются в нуль. По ходу решения задач (21)-(23) эти требования будут уточняться (видоизменяться). Коэффициенты $q(x)$, $R(x)$ пока те же, что и в (1)-(3), но будут в дальнейшем усилены требования относительно их гладкости.

Сначала рассмотрим задачу (21)-(22)-$(23)_0$, где индекс 0 означает однородные (нулевые) условия (здесь и далее). Используя метод разделения переменных $u(x; t) = X(x)T(t)$, получим:

$$T'' = \lambda^2 T\,; \tag{24}$$

$$-x'' - R(x)X - \lambda^2 q(x)X = 0\,,$$

$$X(-\alpha) = X(\beta) = 0\,. \tag{25}$$

Задача (25) для $X(x)$ совпадает со спектральной задачей (1)-(3). В результате можно строить формальные решения задачи (21)-(22)-$(23)_0$.

В соответствии с (20) имеем в (22)

$$\varphi(x) = \varphi_+(x) + \varphi_-(x),\ \psi(x) = \psi_+(x) + \psi_-(x).$$

Соответственно, решение $u(x; t) = u_+(x; t) + u_-(x; t)$. Из (20), (24) имеем

$$T_{+m}'' = \lambda_{+m}^2 T_{+m}$$

и

$$T_{+m}(t) = \frac{[\varphi_{+m} e^{-\lambda_{+m} t} + \psi_{+m} e^{-\lambda_{+m}(t-T)} - \psi_{+m} e^{-\lambda_{+m}(t+T)} - \varphi_m e^{-2\lambda_m T + \lambda_m t}]}{1 - e^{-2\lambda_{+m} T}}\,. \tag{26}$$

Решение

$$u_+(x; t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_{+m}(t) X_{+m}(x)\,, \tag{27}$$

как следует из (26), бесконечно дифференцируемо по t при $t \in (0; T)$, гладкость по x совпадает с гладкостью $X_{+m}(x)$. Следовательно, решение (27), как минимум, класса C^2 внутри области D, т.е. является классическим решением. Очевидно, что $u_+(x; t) \in L_2(D)$. Если граничное условие (22), имеем:

$$[\varphi_+(x) - u_+(x; t); \varphi_+(x) - u_+(x; t)] = \sum_{m=1}^{\infty} |\varphi_{+m} - T_{+m}(t)|^2\,. \tag{28}$$

Ряд (28) – следствие равенства Парсеваля (19), сходится равномерно по t в окрестности точки $t = 0$. Следовательно,

$$[\varphi_+(x) - u_+(x; t); \varphi_+(x) - u_+(x; t)] \to 0\,,\ t \to 0\,,$$

т.е. ряд (27) сходится к $\varphi_+(x)$ в метрике (10) в силу знакоопределенности пространства Π_+. Для $\psi_+(x)$ при $t \to T$ имеет место аналогичное утверждение. Следовательно, для ряда (27) граничные условия (22) выполняются в метрике (10). Таким образом, $u_+(x; t)$ вполне «легитимное» решение рассматриваемой части задачи (21)-(22)-$(23)_0$, когда $\varphi(x), \psi(x) \in \Pi_+$.

Если же $\varphi_{+m}, \psi_{+m} = O\left(\frac{1}{m^2}\right)$, $m \to \infty$ (для этого достаточно, чтобы $\varphi(x)$, $\psi(x) \in C^2[-\alpha; \beta]$), то $u_+(x;t) \in C(\overline{D})$ и граничные условия (22) выполняются обычным образом.

Теперь обратимся к $u_-(x; t)$. В этом случае из (24) следует $T_{-m}''(t) = \lambda_{-m}^2 T_m(t), \lambda_{-m}^2, < 0$, поэтому $T_{-m}(t) = A_{-m}\cos|\lambda_{-m}|t + B_m \sin|\lambda_{-m}t|$. Учитывая (20) и (22), получим

$$T_{-m}(t) = \varphi_{-m}\cos|\lambda_{-m}|t + \frac{\psi_{-m} - \varphi_{-m}\cos|\lambda_{-m}|T}{\sin|\lambda_{-m}|T}\sin|\lambda_{-m}|t. \tag{29}$$

Используя (28), пока формально можем указать $u_-(x; t)$, а именно:

$$u_-(x;t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_{-m}(t) X_{-m}(x). \tag{30}$$

Сразу же отметим, что выражение (30) корректно в случае, если знаменатель в (29) ни при одном $-m$ не обращается в нуль. таким образом, возникает условие существования (и единственности) решения $u_-(x; t)$ в виде (30):

$$\sin|\lambda_{-m}|T \neq 0 \Leftrightarrow |\lambda_{-m}|T \neq \pi n, \quad n = 1, 2, \ldots \tag{31}$$

Условие (31) соотносится с условием в работе [2]. Мы будем предполагать, что выполняются следующие условия: 1) условие (31) выполняется полностью либо нарушается только для конечного числа индексов $-m \in M$ (соответствующее конечное число $n \in N$); 2) для $-m \Subset M$ (M может быть и пусто) имеет место равномерная оценка снизу $|\lambda_{-m}|T - n\pi \geq \delta_1 > 0$ для $\forall n$ (следовательно, $\sin|\lambda_{-m}|T \geq \delta_2 > 0$). Мы не останавливаемся здесь на анализе всех условий, при которых п. 1, 2 выполняются. Приведем лишь в качестве примера следующее достаточное условие: пусть $T/\xi_a = k/s$ – несократимая рациональная дробь (см. асимптотику (13)), тогда п. 1, 2 выполняются, если k – нечетно. Кстати, малой вариацией «входных данных» рассматриваемой задачи это достигается. При выполнении (31) (и п. 1, 2) ряд (30) сходится в $L_{2,q}(D)$, решение $u_-(x; t)$ является обобщенным, граничные условия для него выполняются в среднем. Если φ_{-m}, $\psi_{-m} = O(1/m^2)$ (достаточные условия уже обсуждались выше), то $u_-(x;t) = C(\overline{D}]$ и является, вообще говоря, обобщенным решением уравнения (21), граничные условия выполняются в метрике С.

Если же условие (31) нарушается (из п. 1 – для конечного числа $-m \in M$), то очевидно дополнительное к (31) условие

$$\varphi(x), \psi(x) \perp X_{-m}(x), \quad -m \in M. \tag{32}$$

Ортогональность в (32) в индефинитной метрике (11). Условие (32) означает, что $\varphi(x), \psi(x) \perp \Pi_M \subset \Pi_-(\varphi_-(x), \psi_-(x) \perp \Pi_M)$, здесь Π_M подпространство, натянутое на векторы X_{-m}, $-m \in M$. Анализ решения $u_-(x; t)$ в этом случае аналогичен предыдущему. Таким образом, задача (21)-(22)-$(23)_0$ изучена и решена, решение дается формулами (27), (30).

Рассмотрим задачу (21)-$(22)_0$-(23). Пусть a_n, b_n – коэффициенты разложения $a(t)$, $b(t)$ из (23) по базису $\left\{\sqrt{2/T}\sin\frac{\pi n}{T}t\right\}_{n=1}^{\infty}$, ортонормированному в $L_2[0; T]$ Из теории рядов Фурье известно, что если $a(t)$, $b(t) \in C^2[0; T]$, $a(0) = a''(0) = a(\pi) = a''(T) = 0$, $b(0) = b''(0) = b(\pi) = b'(T) = 0$ и a''', b''' – кусочно-непрерывны, $\sum_m n^k(|a_n| + |b_n|) < \infty$, где $k = 0, 1, 2$. Мы предполагаем, что эти требования на $a(t)$, $b(t)$ выполняются.

В § 1 были введены решения уравнения $l_\lambda u = 0$, обозначенные $y(x; \lambda)$, $U(x; \lambda)$. Также отмечалось, что $y(\beta; \lambda) = -U(-\alpha; \lambda) = \Delta(\lambda)$, где $\Delta(\lambda)$ – характеристический определитель оператора (1)-(3), для которого имеет место оценка снизу (15), вне указанных там кружков сколь угодно малого фиксированного радиуса $\eta > 0$.

В силу выполнения требований из п. 1, 2, дополнительных к условию (31), для $-m \overline{\in} M$ (значит, $\overline{n} \in N$, причем N может быть и пусто) значения $\lambda_n = i\pi n/T$ ($\lambda_n^2 = -\pi^2 n^2/T^2$) попадают в область действия *оценки* (15). Поэтому функции

$$u_n^{left} = U(x;+i\pi n/T)/U(-\alpha;i\pi n/T),$$
$$u_n^{right} = y(x;+i\pi n/T)/y(\beta;i\pi n/T), \qquad (33)$$

равномерно ограничены (по x и n).

Если в (24) взять $\lambda^2 = \lambda_n^2 = \pi^2 n^2/T^2$, то $\{T_n(t) = \sqrt{2/T}\sin(\pi nt/T)\}_{n=1}^{\infty}$. А для $X_n(x)$ получим уравнение $-X_n'' - R(x)X_n - (\pi^2 n^2/T^2)X_n = 0$, $u_n^{left}(x)$, $u_n^{right}(x)$ удовлетворяют этому уравнению и $u_n^{left}(-\alpha) = 1$, $u_n^{left}(\beta) = 0$, $u_n^{right}(\beta) = 1$, $u_n^{right}(-\alpha) = 0$. Очевидно, что решением задачи (21)-(22)$_0$-(23) будет

$$\upsilon(x;t) = T_n(t)[a_n u_n^{left}(x) + b_n u_n^{right}(x)], \qquad (34)$$

где u_n^{left}, u_n^{right} определены в (33), предполагается, что выполняется условие (31). Если же условие (31) нарушается (для конечного числа $n \in N$), то естественным образом возникает требование

$$a(t), b(t) \perp \Pi_d, \qquad (35)$$

где Π_d – подпространство, натянутое на векторы $\sqrt{2/T}\sin(\pi nt/T), n \in N$. Ортогональность в (35) в смысле метрики в $L_2[0; T]$.

В силу предположений относительно $a(t)$, $b(t)$ во всех случаях $\upsilon(x;t) \in C^2([-\alpha;\beta]\times[0;T])$ и являются классическим решением задачи (21)-(22)$_0$-(23).

Сопоставляя решения (27), (30), (34), получим решение задачи (21)-(23).

Задаче Дирихле в прямоугольнике для уравнений смешанного типа посвящены работы [3, 4], где есть обширная библиография.

Литература

1. *Азизов Т.Я., Иохвидов И.С.* Основы теории линейных операторов в пространствах с индефинитной метрикой. М.: Наука, 1986.

2. *Нахушев А.М.* Критерий единственности задачи Дирихле для уравнений смешанного типа // Дифференциальные уравнения. 1970. Т. 6, № 1. С. 190-191.

3. *Репин О.А.* Задача Трикоми для уравнения смешанного типа в области, эллиптическая часть которой – полуполоса // Дифференциальные уравнения. 1996. Т. 32, № 4. С. 565-567.

4. *Сабитов К.Б., Сулейманова А.Х.* Задача Дирихле для уравнений смешанного типа второго рода в прямоугольной области // Известия вузов. Сер. Математика. 2007. № 4. С. 45-52.

5. *Садовничий В.А.* Теория операторов. М.: Высш. шк., 1999.

6. *Стакун А.А.* Краевые задачи, связанные с дифференциальными операторами с точкой поворота // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 32-40.

7. *Стакун А.А.* О свойствах дифференциального оператора с кратной точкой поворота // Дифференциальные уравнения. 1987. Т. 23, № 6. С. 993-999.

8. *Стакун А.А.* О свойствах оператора Шредингера с комплекснозначным потенциалом // Дифференциальные уравнения. 1996. Т. 32, № 3. С. 483-486.

9. *Стакун А.А.* Спектр и резольвента оператора с двумя точками поворота, связанного с уравнением Чаплыгина // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. Вып. 15. С. 61-68.

10. *Франкль Ф.И.* Избранные труды по газовой динамике. М.: Наука, 1973.

11. *Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.* Специальные функции. М.: Наука, 1968.

СТАКУН АЛЬФРЕД АНТОНОВИЧ. См. с. 34.

УДК 517.95
ББК В161.62

А.А. СТАКУН

ОБ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ В НЕОГРАНИЧЕННОЙ ОБЛАСТИ

Ключевые слова: *оператор, резольвента, дискретный и непрерывный спектры, индефинитная метрика, собственные функции, асимптотика, спектральное разложение, краевая задача, уравнения смешанного типа, задача Дирихле, точка поворота, неограниченная область.*

Решена задача Дирихле для уравнения смешанного типа с двумя точками перехода на бесконечной области. Решения структурированы с помощью индефинитной метрики. Использованы полученные ранее автором спектральные разложения для дифференциального операторов с точкой поворота.

A.A. STAKUN

THE BOUDERY PROBLEM ON UNBOUDED DOMAIN, ASSOCIATED WITH DIFFERENTIAL EQUATIONS ABOUT TWO TURNING POINT

Key words: *operator, resolvent, discrete and continuous spectra, indefinite metric, eigenfunctions, asymptotic, expansion, boundary problem, equations about a different type, Dirichlet problem, turning point, unbounded domain.*

The present article considers the Dirichlet problem for the equation about a different type on an unbounded domain, associated with the singular differential operator about two turning points. The indefinite inner product is useful for classification of this problem. The consideration concerned with the author's article associated with differential operators about a turning point.

Рассмотрим задачу Дирихле на бесконечной полуполосе

$$q(x)u_{tt} + u_{xx} + R(x)u = 0\ ,\ (x,t) \in D = [-\alpha; +\infty) \times [0; T]\ ;$$

$$q(x) = (x+a)r_1(x)\ ,\ r_1(x) < 0\ ,\ x < 0\ ;\ q(x) = xr(x)\ ,\ r(x) > 0\ ,\ x > -a\ ;\ \alpha, T, a > 0\ ; \quad (1)$$

$$u(x;0) = \varphi(x)\ ,\ u(x;T) = \psi(x); \quad (2)$$

$$u(-\alpha;t) = a(t)\ . \quad (3)$$

Уравнение (1) – смешанного типа (эллиптическое при $q(x) > 0$, гиперболическое при $q(x) < 0$). Уравнение (1) есть уравнение типа Чаплыгина [10. С. 303], которое моделирует некоторые аэродинамические процессы. При переходе через линии $x = -a$, $x = 0$ меняется тип уравнения, что отвечает переходу от дозвуковых скоростей к сверхзвуковым.

Дополнительно предположим, что

$$q(x), R(x) \in C^2[-\alpha; +\infty)\ ;\ q'(x) = O(q), x \to +\infty\ ;\ q(x) \ge q_0 > 0, x > 1\ ;$$

$$\left|F(x)q^{-1/2}(x)\right| \in L^1[1; +\infty)\ ,\ F(x) = -R(x) + \theta_0(x)\ ,\ \theta_0(x) = -\sqrt{\omega_0'(x)}\,(1/\sqrt{\omega_0'(x)})''\ ,$$

$$\omega_0(x) = \left(\frac{3}{2}\xi_0(x)\right)^{2/3}\ ,\ \xi_0(x) = \int_0^x \sqrt{q(t)}\,dt\ ; \quad (4)$$

$$\varphi(x), \psi(x) \in C^2[-\alpha; +\infty)\ ;\ \varphi(0), \psi(0) = 0\ ;\ \varphi(x), \psi(x) \in L_{2,q}[-\alpha; +\infty)\ ;$$

$$\varphi(x), \psi(x), \varphi', \psi', \varphi'', \psi'' \in L^1[0; +\infty)\ ,\ |R(x)| \le C\ ;$$

$$a(t) \in C^3[0;T]\ ,\ a(0) = 0\ ,\ a''(t) = 0\ ,\ a(T) = 0\ ,\ a''(0) = 0\ . \quad (5)$$

Рассмотрения будем проводить, в основном, в пространстве $L_{2,q}[-\alpha; +\infty]$ с метрикой

$$(f;g) = \int_{-\alpha}^{+\infty} |q(x)| \overline{f}(x) g(x)\,dx\ , \quad (6)$$

и индефинитной метрикой [1. С. 14]

$$[f;g] = \int_{-\alpha}^{+\infty} q(x) \overline{f}(x) g(x)\,dx\ . \quad (7)$$

Граничным условием на бесконечности для задачи (1)-(3) является ограниченность решения $u(x; t)$ (принадлежность решения $L_{2,q}(D) = L_{2,q}[-\alpha; +\infty) \otimes L_{2,q}[0; T]$, где знак $\otimes$ означает тензорное произведение).

Задачу (1)-(3) разобьем на две составляющие: (1)-(2)-$(3)_0$ и (1)-$(2)_0$-(3), где индекс 0 означает однородные (нулевые) граничные условия. Будем применять метод разделения переменных $u(x; t) = X(x)T(t)$. В результате из уравнения (1) получаются два следующих:

$$T''/T = \lambda^2; \tag{8}$$

$$-X''(x) - R(x)X(x) = \lambda^2 q(x)X(x). \tag{9}$$

Рассмотрим задачу (1)-(2)-$(3)_0$. В этом случае, добавив граничное условие

$$X(-\alpha) = 0, \tag{10}$$

необходимо рассмотреть спектральную задачу (9)-(10). Подобные задачи рассматривались в работах [6-8](на конечном отрезке аналогичная задача с двумя точками поворота рассмотрена в работе автора [9]). Приведем необходимые здесь сведения из этих работ. Введем для этого функции:

$$\xi_0(x) = \int_0^x \sqrt{q(t)}dt,\ \arg\xi_0 = 0,\ x \ge 0,\ \arg\xi_0 = 3/2\pi,\ x < 0;$$

$$\xi_1(x) = \int_{-a}^x \sqrt{-q(t)}dt,\ \arg\xi_1 = 0,\ x \ge -a,\ \arg\xi_1 = 3/2\pi,\ x < -a;$$

$$\omega_0(x) = (3/2\xi_0(x))^{2/3},\ \omega_1(x) = (3/2\xi_1(x))^{2/3};\ \theta_{0,1} = -\sqrt{\omega'_{0,1}}(1/\sqrt{\omega'_{0,1}})'';\tag{11}$$

$$\upsilon(x;\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\omega'_0(x)}}(\lambda\xi_0(x))^{1/3}Z_{1/3}(\lambda\xi_0(x),\ \nu(x;\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\omega'_1}}(-i\lambda\xi_1)^{\frac{1}{3}}Z_{1/3}(-i\lambda\xi_1). \tag{12}$$

В (12) $Z_{1/3}$ – функции Бесселя порядка 1/3 [11. С. 179]. Функции (12) удовлетворяют, соответственно, при $x > -a$ и $x < 0$ уравнению

$$-V'' - R(x)V - \lambda^2 q(x)V - \theta_{0,1}V = 0. \tag{13}$$

Введем два решения уравнения (9) $y(x; \lambda)$, $U(x; \lambda)$, обладающие следующими свойствами:

$$y(-\alpha;\lambda) = 0,\ y'(-\alpha;\lambda) = 1;$$

$$\upsilon_1(x;\lambda) = (\omega'_0(x))^{1/2}(\lambda\xi_0)^{1/3}H^{(1)}_{1/3}(\lambda\xi_0),\ U(x;\lambda) = \upsilon_1(x;\lambda) + O\left(q^{-1/4}\frac{1}{\lambda}\exp(-\mathrm{Im}\lambda\cdot\xi_0)\right),$$

$$\lambda \to \infty(\mathrm{Im}\lambda \ge 0)\ \text{равномерно по}\ x \in [0;+\infty),$$

где $H^{(1)}_{1/3}$ – функция Ганкеля [11. С. 189]. Заметим, что главный член асимптотики функции Ганкеля имеет вид $H^{(1)}_{1/3}(z) \sim cz^{-1/2}\exp(iz),\ z \to \infty(\mathrm{Im}z \ge 0)$ и что $y(x) = O(q^{-1/4}\exp(\mathrm{Im}\lambda\xi_0))$, $x \in [0;+\infty)$, $\mathrm{Im}\lambda \ge 0$.

Ядро резольвенты задачи (9)-(10) имеет вид

$$G(x;t;\lambda) = y(x)U(t)/w[y;U],\ x \le t. \tag{14}$$

Для $x > t$ выражение симметрично.

В работах [6-8] изучены аналитические свойства резольвенты. Спектр непрерывен на $[0; +\infty)$ ($\lambda^2 \in [0; +\infty)$), и имеется бесконечное число дискретных собственных значений λ^2_m, в основном, действительных и отрицательных ($\lambda^2_m < 0$). При этом возможно наличие конечного комплексного дискретного спектра (собственные числа попарно сопряжены). В случае, когда $R(x) \le 0$, комплексный спектр отсутствует.

В работах [6, 7] указаны асимптотики дискретного спектра

$$\lambda_m = i\frac{\pi}{\xi_a}\left[m - \frac{1}{2} + O\left(\frac{1}{m}\right)\right],\ m \to \infty,\ \xi_a = \int_{-a}^0 \sqrt{|q|}dt. \tag{15}$$

Из (14) следует, что $W[y; U] = -U(-\alpha; \lambda)$ является характеристическим определителем резольвенты. В работах [7-9] (см. еще [5. С. 320]) указана методика оценки характеристического определителя снизу, именно:

$$|U(-\alpha;\lambda)| \geq \delta[\exp(|\xi_1(-\alpha)|\operatorname{Im}\lambda - \xi_a \operatorname{Re}\lambda) + \exp(|\xi_1(-\alpha)|\operatorname{Im}\lambda + \xi_a \operatorname{Re}\lambda)]|\lambda|^{\chi} \qquad (16)$$

при $\operatorname{Im}\lambda \geq 0$, $|\lambda| >> 1$, $\delta > 0$ вне кружков фиксированного (малого) радиуса $\eta > 0$ с центром в точках $\tilde{\lambda} = i\pi(m - 1/2)/\xi_a$. Кроме того, верна теорема о разложении (см. [6-8]):

$$\forall f(x) \in L_{2,q} : f(x) = \sum_{m=1}^{\infty} f_m X_m(x) + \int_0^{+\infty} A_f(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda ;$$

$$f_m = \int_{-a}^{+\infty} q(x) X_m(x) f(x) dx = [X_m; f(x)], \; A_f(\lambda) = \int_a^{+\infty} qX(x;\lambda) f(x) dx ; \qquad (17)$$

где $X_m(x)$ – ортонормированные в индефинитной метрике (7) собственные функции, отвечающие дискретному спектру, т.е. $[X_k; X_s] = -\delta_{ks}$; $X(x; \lambda)$ – «собственные» функции, отвечающие непрерывному спектру: $X(-\alpha; \lambda) = 0$, $[X(x; \lambda); X(x; \mu)] = \delta(\lambda - \mu)$, δ – дельта-функция Дирака. Отметим еще равномерную ограниченность:

$$|X_m(x)| \leq C\exp(-\varepsilon\xi_0(x))q^{-\frac{1}{4}}(x), x \geq 1 ; \; |X_m(x)| \leq C_1, x \in [-\alpha;+\infty)) ; \; |X(x;\lambda)| \leq C .$$

В общем случае сходимость в (17) в среднем, т.е. в метрике (6). При достаточной гладкости $f(x)$ (например, $f(x)$ принадлежит области определения оператора (9)-(10)) сходимость в (17) равномерная. Имеет место аналог равенства Парсеваля следующего вида:

$$[f; f] = -\sum_{m=1}^{\infty} |f_m|^2 + \int_0^{+\infty} |A_f(\lambda)|^2 d\lambda . \qquad (18)$$

В общем случае ($f \in L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$), как говорилось, сходимость в (17) в метрике (6). Если предположить, например, что $f_m = O(1/m^2)$, $m \to \infty$, $A_f(\lambda) = O(1/\lambda^2)$, $\lambda \to \infty$, то сходимость в (17) равномерна и, следовательно, $f(x) \in C[-\alpha; +\infty)$. Указанные требования на коэффициенты выполняются, если $f(x) \in C^2[-\alpha; +\infty)$, $f(-\alpha) = 0$, $f(x)$, $f'(x)$, $f''(x) \in L_1[-\alpha; +\infty)$. Покажем это:

$$|f_m| = |[X_m; f(x)]| = \left|\frac{1}{\lambda^2_m}\int_{-\alpha}^{+\infty}(-X''_m f(x) - R(x)X_m f(x))dx\right| =$$

$$= \left|\frac{1}{\lambda^2_m}[\int_{-\alpha}^{+\infty}(X_m f''(x))dx - \int_{-\alpha}^{+\infty} R(x)X_m(x)f(x))dx]\right| \leq \frac{c}{|\lambda_m|^2}\int_{-\alpha}^{+\infty}(|f''| + |f(x)|)dx \leq \frac{c}{|\lambda_m|^2} ;$$

$$|A_f(\lambda)| = \left|\frac{1}{\lambda^2}\int_{-\alpha}^{+\infty}(-X''(x;\lambda)f(x) - R(x)X_m f(x))dx\right| \leq$$

$$\leq \frac{1}{|\lambda|^2}\int_{-\alpha}^{+\infty} c(|f''(x)| + |f(x)|)dx \leq \frac{c}{|\lambda|^2}, \; |\lambda| \geq 1 . \qquad (19)$$

Очевидно, что при более точных оценках требования на $f(x)$, $R(x)$ можно ослабить (видоизменить).

Полагая в (8), соответственно, $\lambda^2 = \lambda^2_m$ и $\lambda^2 = \lambda^2$, $\lambda^2 \in [0;+\infty)$, строим пока формальное решение задачи (1)-(2)-$(3)_0$. При этом отметим, что в соответствии со спектром задачи (9)-(10) пространство $L_{2,q}[-\alpha; +\infty)$ представимо в виде суммы ортогональных (в метрике (7)) подпространств (см. (17)-(18)) – положительного и отрицательного:

$$L_{2,q}[-\alpha;+\infty) = \Pi_- + \Pi_+ ; \qquad (20)$$

$$\forall f \in L_{2,q} : f(x) = f_-(x) + f_+(x) ; \; f_- \in \Pi_- , \; f_- = \sum_m f_m X_m ; \; f_+ \in \Pi_+ ,$$

$$f_+ = \int_{-\alpha}^{+\infty} A_f(\lambda) X(x;\lambda) d\lambda ; \; f_- \perp f_+ , \; [f; f] = [f_-; f_-] + [f_+; f_+] ; \; [f_-; f_-] < 0 , \; [f_+; f_+] > 0 . \qquad (21)$$

Решение задачи (1)-(2)-$(3)_0$, соответственно, представимо в виде

$$u(x;t) = u_-(x;t) + u_+(x;t) ,$$

где

$$u_-(x;t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_m(t) X_m(x) , \; u_+(x;t) = \int_0^{+\infty} T_\lambda(t) X(x;\lambda) d\lambda ,$$

$$T_m(t)=\varphi_m\cos|\lambda_m|t+((\psi_m-\varphi_m\cos|\lambda_m|T)/\sin|\lambda_m T|)\sin|\lambda_m|t\ ;$$

$$T_\lambda(t)=\frac{A_\varphi-A_\psi e^{-\lambda T}}{1-e^{-2\lambda T}}e^{-t}+\frac{A_\psi-A_\varphi e^{-\lambda T}}{1-e^{-2\lambda T}}e^{-\lambda(T-t)}\ ;\ A_\varphi(\lambda)=[X;\varphi],A_\psi(\lambda)=[X;\psi]\,. \qquad (22)$$

Из (22) следует, что $u_+(x;t)\in C^2[-\alpha;+\infty)\times(0;T)]$ и является классическим решением уравнения (1). Если при этом $A_\varphi(\lambda),\ A_\psi(\lambda)=O(1/\lambda^2),\ \lambda\to\infty$, то $u_+(x;t)=C[\overline{D}]$ и граничные условия для него выполняются стандартно.

Решение $u_-(x;\,t)$ определено пока формально. Введем дополнительное требование (соотносится с работой [2])

$$|\lambda_m|T\neq\pi n\Leftrightarrow\lambda^2{}_m\neq-\left(\frac{\pi n}{T}\right)^2. \qquad (23)$$

Кроме того, будем предполагать, что условие (23) может нарушаться лишь для конечного числа $m\in M$ (конечного числа $n\in N$) и еще что при $m\overline{\in}M$

$$\left|\lambda_m|-\frac{\pi n}{T}\right|>\delta_1\ ,\ \delta_1>0\Rightarrow\ |\sin|\lambda_m|T|>\delta_2>0\,.$$

Оба условия выполняются, например (см. (15)), если $T/\xi_a=k/s$ – несократимая рациональная дробь и k – нечетное. Другие достаточные условия мы здесь не приводим, тем более, что вышеуказанное реализуется небольшой вариацией входных параметров задачи.

При выполнении условия (23) (и дополнительных условий) $u_-(x;\,t)$ существует и принадлежит $L_2([-\alpha;\,\beta]\times[0;\,T])$ при $\forall\beta>0$ и $u_-(x;\,t)$ и является обобщенным решением уравнения (1). Если при этом, $\varphi_m,\ \psi_m=O(1/m^2)$ (см. (19)), то $u_-(x;t)\in C(\overline{D})$ и граничное условие (2) выполняется стандартно – по непрерывности. Если же (не останавливаясь на достаточности) $\varphi_m,\ \psi_m=O(1/m^4)$, то $u_-(x;t)\in C^2(\overline{D})$ – классическое решение.

Если (23) нарушается (по условию – для $m\in M$, M – конечно), то должно быть

$$\varphi_m,\psi_m=0,m\in M\Leftrightarrow\varphi(x),\psi(x)\perp X_m(x),m\in M\,. \qquad (24)$$

Ортогональность в (24) в индефинитной метрике (7), т.е. $\varphi(x)$, $\psi(x)$ должны быть ортогональны в метрике (7) конечномерному подпространству $\Pi_M\subset\Pi_-$, натянутому на векторы $X_m(x)$, $m\in M$. Анализ гладкости решения $u_-(x;\,t)$ в этом случае аналогичен предыдущему. Задача (1)-(2)-$(3)_0$ – решена.

Единственность (в соответствующем классе с учетом (24) – при необходимости) $u_-(x;\,t)$ следует из базисности $\{X_m(x)\}_{m=1}^{\infty}$ в подпространстве Π_- и единственности решения соответствующей краевой задачи для уравнения (8) с очевидными оговорками в случае использования условия (24).

Теперь рассмотрим задачу (1)-(2)-$(3)_0$, решение обозначим $V(x;\,t)$. В уравнении (8) положим $\lambda^2=\lambda_m^2=-\left(\frac{\pi n}{T}\right)^2$ и добавим граничные условия

$$T(0)=T(T)=0. \qquad (25)$$

Спектральная задача (8)-(25) порождает ортонормированный в метрике $L_2[0;\,T]$ базис $\left\{T_n(t)=\sqrt{2/T}\sin\frac{\pi nt}{T}\right\}_{n=1}^{+\infty}$. Пусть a_n – коэффициенты разложения $a(t)$ в условии (3) по этому базису

$$a(t)=\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sqrt{2/T}\sin\frac{\pi nt}{T}=\sum_{n=1}^{\infty}a_nT_n(t)\,. \qquad (26)$$

Из условий (5) и из теории рядов Фурье следует

$$\sum_n n^k|a_n|<\infty,k=0,1,2. \qquad (27)$$

Из (9) следует, что задаче (8), (25) отвечает следующая краевая задача

$$-X''-R(x)X''=-\left(\frac{\pi n}{T}\right)^2 q(x)X\,,\ X(0)=1\,. \tag{28}$$

Причем $X(x)$ должна быть ограничена на бесконечности (фактически $X(x)\to 0$, $x\to+\infty$). Из асимптотик решения $U(x;\lambda)$ при $x\to+\infty$ следует, что решения $U\left(x;i\frac{\pi n}{T}\right)$ удовлетворяют уравнению (28) и $\left|U(x;i\frac{\pi n}{T})\right|\le cq^{-1/4}e^{-\varepsilon\xi_0(x)}, x\in[1;+\infty)$, где $\varepsilon > 0$ – малое фиксированное число. Далее, если выполняется условие (23) (вместе с дополнениями), то точки $\lambda_n = i\frac{\pi n}{T}$ попадают во внешность кружков фиксированного малого радиуса $\eta > 0$, где действует оценка снизу (16), поэтому

$$u_n^l(x)=U\left(x;i\frac{\pi n}{T}\right)/U\left(-\alpha;i\frac{\pi n}{T}\right) \tag{29}$$

равномерно ограничены сверху некоторой константой $\left|u_n^l(x)\right|\le c$ на $[-\alpha;+\infty]$, точнее $\left|u_n^l(x)\right|\le ce^{-\varepsilon\xi_0(x)}, x\in[1;+\infty)$.

Сопоставляя (26), (28), (29), получаем решение задачи (1)-$(2)_0$-(3):

$$V(x;t)=\sum_{n=1}^{\infty}a_nT_n(t)u_n^l(x)=\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sqrt{2/T}\sin\frac{\pi nt}{T}u_n^l(x)\,. \tag{30}$$

Из (27) следует, что $V(x;t)\in C^2(\overline{D})$, $|V(x;t)|\le C$, $|V(x;t)|\le Cq^{-1/4}(x)e^{-\varepsilon\xi_0(x)}$, $x\in[1;+\infty)$. Тем самым получено классическое решение задач (1)-$(2)_0$-(3). Единственность решения (в соответствующем классе) следует из базисности $\{T_n(t)\}$ и единственности решения краевой задачи (28).

В случае, когда (23) нарушается (по условию для конечного числа $n \in N$), то очевидное дополнительное условие $a_n = 0$, $n \in N$, или

$$a(t)\perp T_n(t),\ n\in N, \tag{31}$$

позволяет найти решение однозначно. Ортогональность в (31) в метрике $L_2[0; T]$. Отметим работы [3, 4], где рассматривались подобные задачи и имеется библиография.

Литература

1. *Азизов Т.Я., Иохвидов И.С.* Основы теории линейных операторов в пространствах с индефинитной метрикой. М.: Наука, 1986.

2. *Нахушев А.М.* Критерий единственности задачи Дирихле для уравнений смешанного типа // Дифференциальные уравнения. 1970. Т. 6, № 1. С. 190-191.

3. *Репин О.А.* Задача Трикоми для уравнения смешанного типа в области, эллиптическая часть которой – полуполоса // Дифференциальные уравнения. 1996. Т. 32, № 4. С. 565-567.

4. *Сабитов К.Б., Сулейманова А.Х.* Задача Дирихле для уравнений смешанного типа второго рода в прямоугольной области // Известия вузов. Сер. Математика. 2007. № 4. С. 45-52.

5. *Садовничий В.А.* Теория операторов. М.: Высш. шк., 1999.

6. *Стакун А.А.* Краевые задачи, связанные с дифференциальными операторами с точкой поворота // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 32-40.

7. *Стакун А.А.* О свойствах дифференциального оператора с кратной точкой поворота // Дифференциальные уравнения. 1987. Т. 23, № 6. С. 993-999.

8. *Стакун А.А.* О свойствах оператора Шредингера с комплекснозначным потенциалом // Дифференциальные уравнения. 1996. Т. 32, № 3. С. 483-486.

9. *Стакун А.А.* Спектр и резольвента оператора с двумя точками поворота, связанного с уравнением Чаплыгина // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. Вып. 15. С. 61-68.

10. *Франкль Ф.И.* Избранные труды по газовой динамике. М.: Наука, 1973.

11. *Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.* Специальные функции. М.: Наука, 1968.

СТАКУН АЛЬФРЕД АНТОНОВИЧ. См. с. 34.

УДК 536.46:004.9
ББК 24.5

В.С. АБРУКОВ, С.В. АБРУКОВ, Е.В. КАРЛОВИЧ, Ю.В. СЕМЕНОВ

БАЗА ЗНАНИЙ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ: БУДУЩЕЕ МИРА ГОРЕНИЯ*

Ключевые слова: *горение, Data Mining, искусственные нейронные сети, многофакторные вычислительные модели, база знаний.*

Цель статьи – обратить внимание на необходимость и возможность обобщения экспериментальных данных, накопленных в мире горения, в виде базы знаний процессов горения. База знаний будет представлять собой комплекс, состоящий из базы данных экспериментальных результатов, полученных в мире горения, и набора многофакторных вычислительных моделей, созданных с помощью средств Data Mining и искусственных нейронных сетей и включающих в себя зависимости между характеристиками и параметрами процесса горения. Предложен новый подход к представлению результатов экспериментальных исследований в научных журналах и отчетах по НИР. В качестве примеров приведены базы знаний и новый подход к представлению результатов экспериментальных исследований в виде многофакторных моделей горения энергетических материалов и горения топливовоздушных смесей в модельных камерах сгорания.

V.S. ABRUKOV, S.V. ABRUKOV, E.V. KARLOVICH, Yu.V. SEMENOV

A COMBUSTION KNOWLEDGE BASE IS FUTURE OF COMBUSTION WORLD

Key words: *knowledge base, combustion, artificial neural networks, computational models.*

The goals of the paper is to pay attention to the time has came to make a generalization from the experimental data of combustion world from the point of view of a Knowledge Base creation. The Knowledge Base will be a complex consisting of a data base of experimental results obtained in all of the combustion world and the whole set of multifactor computational models that will be established on the basis of the data base and will include in itself all connections between all variables (combustion characteristics and parameters) of all fuel mixtures and energetic materials. A new approach to the presentation of the results of experimental studies in scientific journals and research reports is suggested. As examples, the paper presents a knowledge base and a new approach to the presentation of the results of experimental studies in the form of multi-factor models of combustion of energy materials and fuel-air mixture in the model of combustion chambers.

В мире накоплено чрезвычайно большое количество экспериментальных данных о характеристиках горения различных видов топлива и энергетических материалов в различных условиях горения. Очевидно, что характеристики горения связаны с составом горючих смесей и видом компонентов смеси, наличием каталитических добавок, давлением, начальной температурой и другими параметрами. Однако в настоящее время не существует обобщенных моделей влияния этих факторов. Нет моделей, которые позволяют предсказывать скорость горения новой горючей смеси для различных диапазонов давления и начальной температуры (прямая задача). Нет моделей, которые позволяют определять состав горючей смеси, обеспечивающий требуемую скорость горения при требуемом давлении и начальной температуре (обратная задача).

В данной работе мы представляем результаты использования Data Mining (DM) для создания обобщенных моделей горения, которые способны решать как прямые, так и обратные задачи.

DM включает в себя такие средства, как «деревья решений», искусственные нейронные сети (ИНС), самоорганизующиеся карты Кохонена. ИНС играют ведущую роль при создании многофакторных вычислительных моделей, которые позволяют решать прямые и обратные задачи.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-97071).

В качестве примеров представлены две модели: 1. Зависимость эффективности действия катализаторов на скорость горения от состава топлива и давления в камере сгорания (прямая задача) и 2. Содержание катализаторов в топливе, обеспечивающее требуемую скорость горения при различных составах топлива и давлениях в камере сгорания (обратная задача).

Результаты исследования и их обсуждение. Модели 1 и 2 содержат в себе все зависимости между эффективностью катализатора Z ($Z = U_k / U_0$, где U_0 – скорость горения без катализатора; U_k – скорость горения с катализатором), содержанием нитроцеллюлозы (NC), нитроглицерина (NGL), гексогена (RDX), катализатора SnO_2, содержанием сажи и давлением. Эти модели позволяют прогнозировать скорость горения топлива для любого набора из шести переменных, а также прогнозировать количество двух катализаторов для любого набора из пяти других переменных.

Для построения моделей были взяты экспериментальные данные, приведенные в [3].

Схема создания моделей была следующей. Сначала экспериментальные данные были собраны в базу данных. Пример представлен в таблице.

Пример данных, использованных для создания моделей 1 и 2

NC, %	NGL, %	RDX, %	SnO_2, %	C, %	*p*, МПа	*Z*
54	46	0	1,5	0	2	1,7
54	46	0	1,7	0	2	1,8
…	…	…	…	…	…	…
54	46	0	10	0	2	2,2
54	46	0	2,3	0	20	1,1
…	…	…	…	…	…	…
54	46	0	10	0	20	1,2
60	40	0	5	0	3	2,2
…	…	…	…	…	…	…
60	40	0	5	3	0,5	1,7
37	37	25	1,5	0	2	1,5
…	…	…	…	…	…	…
37	37	25	2,5	0	2	2
50	50	0	2,5	0	0,5	1
…	…	…	…	…	…	…
50	50	0	2,5	0	5	1,8
…	…	…	…	…	…	…

Для решения прямой задачи в процессе обучения ИНС различные наборы значений содержания в топливе NC, NGL, RDX, SnO_2, сажи и значения давления подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения эффективности катализатора Z подавались на выходной слой ИНС. В целом ИНС состояла из одного входного слоя (шесть нейронов), одного скрытого слоя (семь нейронов) и одного выходного слоя (один нейрон).

Для обучения ИНС мы использовали хорошо известную процедуру – метод «обратного распространения ошибки».

Обученная ИНС представляет собой средство, обобщающее все зависимости между эффективностью катализатора и другими переменными и позволяющее вычислять и прогнозировать эффективность катализатора для различных наборов переменных (параметров) эксперимента для существенно более широкого диапазона переменных, чем было использовано в реальных экспериментах [3].

На рис. 1 показан пример возможностей полученной модели. Представлена зависимость Z от количества SnO_2, рассчитанная для значения p = 30 МПа (в действительности, в работе [3] имелись данные только для интервала p = 1-20 МПа). Результаты показывают, что модель хорошо экстраполирует зависимость скорости горения (в виде Z) от количества SnO_2 для более широкого диапазона давлений, чем было измерено в [3].

Для решения обратной задачи в процессе обучения ИНС различные наборы значений содержания NC, NGL, RDX, значения давления и эффективности катализатора – Z подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения количества катализатора SnO2 и сажи подавались на выходной слой.

В целом ИНС состояла из одного входного слоя (пять нейронов), одного скрытого слоя (восемь нейронов) и одного выходного слоя (два нейрона).

Обученная ИНС представляет собой средство, обобщающее все зависимости между количеством SnO_2 и сажи, с одной стороны, и эффективностью катализатора и значениями оставшихся переменных – с другой. Она позволяет вычислять и прогнозировать количества SnO_2 и сажи, которые обеспечивают требуемую эффективность

катализатора *Z* (фактически требуемую скорость горения) для различных наборов переменных (параметров) эксперимента.

Полученная модель может быть использована для определения количеств SnO2 и сажи, которые обеспечивает требуемую эффективность катализатора в более широком диапазоне переменных (например, давление), чем в [3].

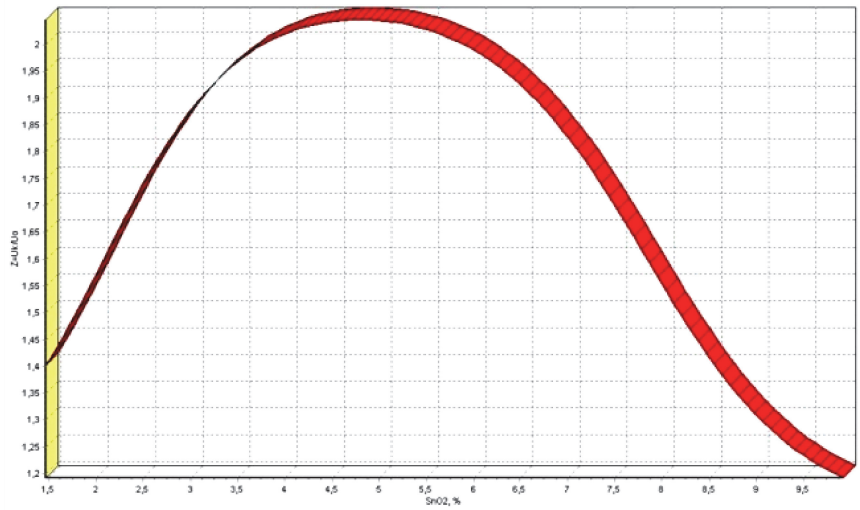


Рис. 1. Зависимость эффективности катализатора от количества SnO_2 для давления 30 МПа (другие переменные: NC – 54%, NGL – 46%, RDX – 0%, сажа – 0%)

На рис. 2 показана зависимости количеств SnO_2 и сажи, которые обеспечивают требуемую эффективность катализатора *Z*. Зависимости были рассчитаны для значения p = 30 МПа (в работе [3] были данные только для интервала p = 1-20 МПа). Результаты показывают, что модель хорошо определяет количества SnO_2 и сажи, обеспечивающие требуемое значение *Z* для более широкого диапазона давлений, чем в [3].

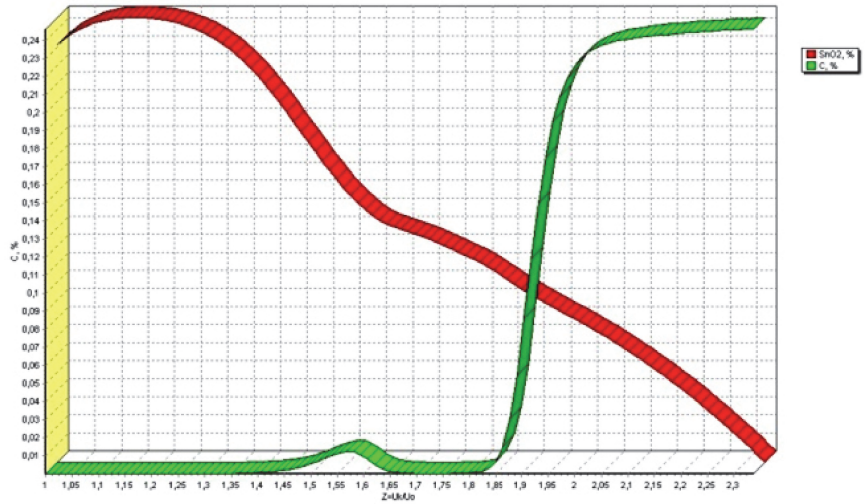


Рис. 2. Нормализованное (от 0 до 10%) количество катализатора SnO_2 (красная линия) и количество сажи (зеленая линия), которые обеспечивают различные значения эффективность катализатора Z для давления p = 30 МПа (другие переменные: NC – 54%, NGL – 46%, RDX – 0%)

Скриншот аналитической платформы, которую мы использовали для создания моделей, показан на рис. 3. Представлена модель, которая позволяет рассчитать количества SnO2 и сажи, которые обеспечивают необходимую эффективность катализатора Z = 1,66 при различных значениях давления (другие переменные: NC – 54%, NGL – 46 %, RDX – 0%). В таблице над графиками (см. рис. 3) показано количество SnO2 = 2,08 ... и количество сажи = 0,25 ... (см. «Output»), которые обеспечивают Z = 1,66 для p = 2 МПа и NC – 54%, NGL – 46%, RDX – 0% (см. «Input»).

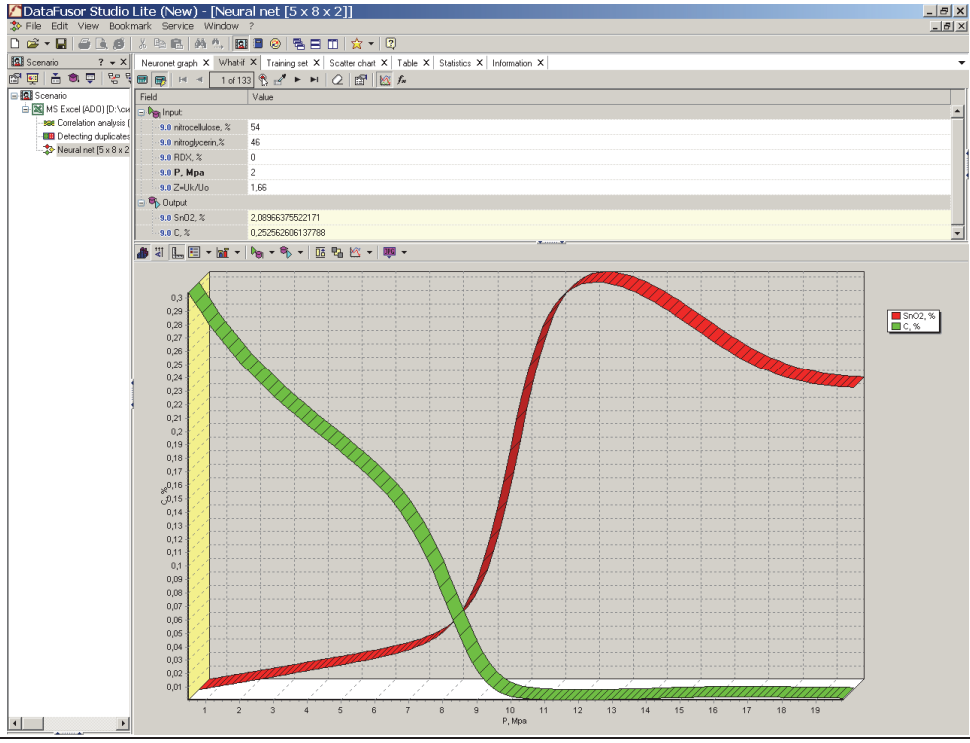


Рис. 3. Нормализованное (от 0 до 10%) количество катализатора SnO2 (красная линия) и количество сажи (зеленая линия), которые обеспечивают эффективность катализатора Z = 1,66 при различных значениях давления (другие переменные: NC – 54%, NGL – 46%, RDX – 0%)

Таким образом, мы создали многофакторные вычислительные ИНС модели, содержащие в себе все зависимости между эффективностью катализаторов, составом топлива (содержание NC, NGL, RDX), содержанием катализаторов и значением давления.

Эти модели позволяют прогнозировать скорость горения (эффективность катализаторов) топлива для любого набора из шести других переменных (прямая задача), а также прогнозировать содержания катализаторов, которые обеспечивают требуемую эффективность катализаторов для любого набора из четырех других переменных (обратная задача).

Совокупность полученных моделей можно рассматривать как наиболее полное описание экспериментальных результатов [3], как инструмент получения новых «экспериментальных» результатов, а также как средство выявления новых зависимостей. В целом эта совокупность представляет собой базу знаний горения катализированных топлив исследуемого типа.

Другие многофакторные вычислительные модели горения энергетических материалов. На сегодняшний день кроме описанных выше моделей мы создали ряд других моделей.

1. Модели «Профиль температуры в волне горения в зависимости от давления или адиабатической температуры». Они позволяют определять температурный профиль волны горения с помощью данных о давлении в камере сгорания или адиабатической температуре горения топлива [4, 6].

2. Модели «Профиль температуры в зависимости от содержания железа и начальной температуры». Они позволяют определять профиль температуры в волне самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с помощью данных о содержании железа и начальной температуры СВС.

3. Модели «Зависимость скорости горения от теплоты взрыва, давления и начальной температуры» [6]. Эти модели основаны на данных, собранных в [5]. Данные содержат значения скорости горения, начальной температуры и давления для различных типов компонентов топлив: перхлората аммония, октогена, гексогена, CL-20 (индийского производства), динитрамида аммония и нитроформата гидразина. Мы добавили к этим данным теплоту взрыва для каждого типа. Полученные модели содержат в себе все зависимости между переменными и позволяют предсказывать зависимость скорости горения от давления и начальной температуры для различных топлив, которые отличаются друг от друга теплотой взрыва.

4. Модели «Зависимость скорости горения от давления и состава топлива» [6]. Эти модели включают все связи между значением скорости горения, с одной стороны, и количеством нитрата аммония, перхлората аммония (ПА), диаметра частиц ПА и давления – с другой. Эти модели позволяют прогнозировать значения скорости горения топлива (прямая задача).

5. Модели «Состав топлива, обеспечивающий требуемое значение скорости горения при различных давлениях» [6]. Эти модели включают все зависимости между количеством ПА и диаметром частиц ПА, с одной стороны, и значением скорости горения, количеством нитрата аммония и значением давления – с другой. Эта модели позволяет прогнозировать состав топлива, обеспечивающий необходимую скорость горения (обратная задача).

Мы создали также несколько других ИНС-моделей сгорания энергетических материалов [2] и несколько ИНС-моделей, связанных с горением в двигателях. Среди них модель «Поющее пламя» и модель «Вибрационное обращенное пламя» [1]. Эти модели описывают условия возбуждения и подавления вибрационного горения в двигателях.

Выводы. 1. Мы считаем, что ИНС являются хорошим инструментом для многомерной аппроксимации экспериментальных функций нескольких переменных.

2. ИНС-модели можно рассматривать как мгновенно вычисляющие специализированные для исследования процессов горения калькуляторы и как простой способ получения «новых» экспериментальных результатов.

3. ИНС-модели обеспечивают быстрый доступ к любым зависимостям между переменными эксперимента, что может быть очень важным с точки зрения наглядности при проведении учебных занятий со студентами.

4. Мы считаем, что создание вычислительных ИНС-моделей на основе экспериментальных данных, а затем и баз знаний является перспективным направлением развития научных и прикладных исследований в области горения.

Новый подход к представлению результатов многофакторных экспериментов (с числом факторов два и более). В результате экспериментальных исследований получены таблицы и семейство графиков, в которых содержаться значения целевой функции эксперимента и факторов (параметров, переменных), от которых зависит целевая функция. Далее возникает вопрос, можно ли увеличить значение полученных экспериментальных данных?

Например, можно ли использовать их для решения обратных задач – определения набора факторов, обеспечивающих требуемое значение целевой функции? Мож-

но ли выйти за пределы таблиц и графиков, предсказать результаты экспериментов, которые еще не были проведены?

Как показывают результаты, представленные в данной статье, возможно уже в ближайшем будущем появится принципиальное изменение в представлении экспериментальных исследований в научных журналах и отчетах по НИР.

Появится требование представления (в качестве приложения к статье или отчету по НИР) исполняемого компьютерного модуля многофакторной вычислительной модели, полученной с помощью искусственных нейронных сетей, обобщающей цифровые результаты эксперимента и позволяющей читателю быстро вычислять значения целевой функции эксперимента при любом наборе конкретных значений факторов, визуализировать любые зависимости, содержащиеся в экспериментальных данных, прогнозировать (экстраполировать) закономерности, содержащиеся в экспериментальных данных.

Если сравнить традиционную форму представления результатов экспериментальных исследований в научной статье (в виде таблиц и графиков) и в виде компьютерного модуля многофакторной вычислительной модели, то можно отметить следующее.

Таблицы позволяют видеть значения целевой функции и значения соответствующих им факторов. Но они не позволяют непосредственно определить промежуточные значения целевой функции при другом наборе параметров, а также выходить за пределы диапазонов табличных данных.

Семейство графиков (например, для функции двух переменных) позволяет видеть зависимость целевой функции в целом, но оно не позволяет видеть зависимость функции при всех наборах двух переменных. И очень трудно представить графически экспериментальную функцию трех переменных и, тем более, функцию большего числа переменных.

Компьютерный модуль многофакторной вычислительной модели эксперимента позволяет решать все вышеперечисленные задачи мгновенно и, кроме того, еще ряд других задач, в частности обратные задачи и задачи получения новых «экспериментальных» результатов без проведения дополнительных экспериментов (задачи прогнозирования).

Необходимо также отметить следующее. Среди задач обработки экспериментальных данных есть задачи, которые в ряде случаев являются обязательными элементами экспериментальных работ и которые могут быть более точно решены с помощью ИНС. Среди них можно отметить, например, задачу нахождения касательной к экспериментальному графику и координаты точки ее пересечения с осью абсцисс, а также задачи нахождения координат точек пересечения экспериментальных графиков с осью ординат или абсцисс, а также другие задачи нахождения особенностей экспериментальных данных.

Литература

1. *Абруков В.С., Абрукова Л.С., Троешестова Д.А., Петров А.А.* Моделирование закономерностей вибрационного горения с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 178-184.

2. *Абруков В.С., Карлович Е.В., Иванов А.Г.* Моделирование горения конденсированных систем с помощью средств Data Mining // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 184-189.

3. *Денисюк А.П., Демидова Л.А.* Особенности влияния некоторых катализаторов на горение баллиститных порохов // Физика горения и взрыва. 2004. № 3. С. 69-76.

4. Application of artificial neural networks for creation of “black box” models of energetic materials combustion / *V.S. Abrukov, G.I. Malinin, M.E. Volkov et al.* // Advancements in Energetic Materials and Chemical Propulsion. Bellingham: Begell House Inc. of Redding, 2008. P. 377-386.

5. Burning Rate of Solid Propellant Ingredients. P. 1. Pressure and Initial Temperature Effects / *A.I. Atwood, T.L. Boggs, P.O. Curran et al.* // Journal of Propulsion and Power. 1999. Vol. 15, № 6. P. 740-749.

6. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools / *V.S. Abrukov, E.V. Karlovich, V.N. Afanasyev et al.* // International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. № 9(5). P. 385-396.

АБРУКОВ ВИКТОР СЕРГЕЕВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (abrukov@yandex.ru).

ABRUKOV VIKTOR SERGEEVICH – doctor of physics and mathematical sciences, professor, head of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АБРУКОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ – аспирант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (abrukovs@yandex.ru).

ABRUKOV SERGEY VICTOROVICH – post-graduate student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КАРЛОВИЧ ЕЛЕНА ВАЛЕРЬЕВНА – аспирант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (lenka-buzuluk@yandex.ru).

KARLOVICH ELENA VALERIEVNA – post-graduate student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СЕМЕНОВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – магистрант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (hromoj_88@mail.ru).

SEMENOV YURIY VLADIMIROVICH – master student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.3.049.77:004.9
ББК 22.36

С.В. АБРУКОВ, А.В. СМИРНОВ

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ*

Ключевые слова: *наноматериалы, нанотехнологии, Data Mining, искусственные нейронные сети, многофакторные вычислительные модели, база знаний.*

Цель работы – обратить внимание на необходимость и возможность обобщения экспериментальных данных накопленных в мире наноматериалов в виде базы знаний. База знаний будет представлять собой комплекс, состоящий из базы данных экспериментальных результатов, полученных в мире наноматериалов, и набора многофакторных вычислительных моделей, созданных с помощью средств Data Mining и искусственных нейронных сетей и включающих в себя зависимости между характеристиками наноматериалов и параметрами технологий их получения. В качестве примеров приведены базы данных и многофакторные модели характеристик наноплёнок линейно-цепочечного углерода с внедрёнными в них атомами металлов и неметаллов.

S.V. ABRUKOV, A.V. SMIRNOV

A CREATION OF KNOWLEDGE BASE IS A NEW RESEARCH DIRECTION OF NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

Key words: *nanomaterials, nanotechnology, data mining, artificial neural networks, multifactor computational models, knowledge base.*

The goals of the paper is to pay attention to the time has came to make a generalization from the experimental data accumulated in the world of nanomaterials in a knowledge base. The Knowledge Base will be a complex consisting of a data base of experimental results obtained in all of the nanomaterials world and the whole set of multifactor computational models that will be established on the basis of the data base and will include in itself all connections between the characteristics of nanomaterials and technology parameters of their production. As examples, the paper presents the database and multi-factor models of the characteristics of nanofilms of linear-chain carbon with embedded atoms of metals and non-metals.

В настоящее время в России и в мире накоплено чрезвычайно большое количество экспериментальных данных о свойствах и характеристиках разнообразных наноматериа-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-97071).

лов, полученных с помощью различных технологий. И это количество растет с каждым днем. Вопрос заключается в следующем: можем ли мы обобщить их и представить в виде моделей, позволяющих описать все ранее исследованные наноматериалы?

Очевидно, что характеристики наноматериалов связаны с их структурой, составом, видом компонентов, формой, размером и технологией получения. Вопрос – можем ли мы аппроксимировать эти связи и представить их в виде моделей, которые позволят быстро определять характеристики ранее исследованных наноматериалов, а также прогнозировать характеристики новых, еще не исследованных наноматериалов без проведения экспериментов?

Ещё более важный вопрос заключается в следующем. Возможно ли, на основе этих моделей предсказать, каким должен быть наноматериал (структура, состав, компоненты, размеры), а также какие технологии нужно использовать для получения наноматериала с заранее заданными характеристиками?

В данной статье мы представляем результаты применения методов интеллектуального анализа данных – Data Mining (DM), в частности искусственных нейронных сетей (ИНС), для создания таких моделей (другие примеры применения ИНС в фундаментальных и прикладных исследованиях приведены в [1, 2, 11, 12, 13, 15]). Эти результаты основаны на экспериментах по исследованию характеристик наноплёнок линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) с внедрёнными в них атомами металлов и неметаллов (ЛЦУ АМН) [3, 4, 5, 8, 9, 14]. Впервые ЛЦУ АМН были получены в Чувашском государственном университете [6] с использованием запатентованной технологии [10] и различных ноу-хау. ЛЦУ АМН могут представлять большой интерес для активных и пассивных элементов твердотельной электроники [7], элементов солнечных батарей, сенсоров, медицинских приложений и т.д.

DM в широком понимании этого термина представляет собой комплекс современных средств обработки информации, ее анализа и моделирования и включает в себя различные инструменты предобработки данных (выявление аномальных данных, выявление дубликатов и противоречий, очистка данных); инструменты предварительного анализа данных (факторный и корреляционный анализ, спектральный анализ), инструменты моделирования (линейная и логическая регрессии, деревья решений, искусственные нейронные сети (ИНС), самоорганизующиеся карты – карты Кохонена). ИНС как инструмент аппроксимации экспериментальных функций нескольких переменных играет главную роль в создании моделей, позволяющих обобщать экспериментальные данные, прогнозировать свойства и характеристики новых наноматериалов.

Результаты исследования и их обсуждение. К настоящему времени получены две модели: 1. Вольт-амперная характеристика ЛЦУ АМН. 2. Спектральный коэффициент пропускания ЛЦУ АМН.

Модели позволяют на основе обобщения закономерностей в экспериментальных данных вычислять электрофизические и оптические характеристики ЛЦУ АМН в зависимости от количества видов атомов (один или два вида), внедрённых в ЛЦУ, вида атомов (номер и группа атомов в соответствии с периодической таблицей Менделеева) и толщины ЛЦУ АМН и прогнозировать вольт-амперную характеристику и спектр пропускания новых видов ЛЦУ АМН, а также решать обратную задачу: определять количество видов атомов, виды атомов и толщину ЛЦУ АМН, которые обеспечивают требуемое значение тока при заданном напряжении и требуемый коэффициент пропускания для заданной длины волны излучения.

Рассмотрим схему создания моделей на примере модели «Вольт-амперная характеристика ЛЦУ АМН».

Сначала экспериментальные данные по вольт-амперным характеристикам различных ЛЦУ АМН были представлены в виде базы данных. Пример представлен в таблице.

Затем была выбрана соответствующая собранной базе данных архитектура ИНС и проведено ее обучение.

Пример данных, использованных для создания модели «Вольт-амперная характеристика ЛЦУ АМН»

Номер элемента 1, внедренного в ЛЦУ АМН	Группа элемента 1	Номер элемента 2, внедренного в ЛЦУ АМН	Группа элемента 2	Толщина пленки, внедренного в ЛЦУ АМН, нм	Напряжение, В	Сила тока, мкА
14	4	48	2	1000	–3,0	–26
14	4	48	2	1000	–2,5	–24
…	…	…	…	…	…	…
14	4	48	2	1000	2,9	150
48	2	52	6	1000	–3,0	–8
48	2	52	6	1000	–2,9	–5
48	2	52	6	1000	–2,6	–3,5
…	…	…	…	…	…	…
48	2	52	6	1000	2,9	5,7
14	4	81	3	2000	–30	–50942
14	4	81	3	2000	–28,8	–36869
14	4	81	3	2000	–15,4	–3721
14	4	81	3	2000	–12,4	–2144
…	…	…	…	…	…	…

Обучение заключалось в том, что различные наборы значений первых шести столбцов таблицы подавались на входной слой ИНС, а соответствующие значения тока устанавливались в выходном слое ИНС и с помощью известного метода обучения ИНС – метода «обратного распространения ошибки» создавалась вычислительная ИНС-модель вольт-амперной характеристики.

Эта модель представляет собой модель типа «чёрного ящика». Полученный «чёрный ящик» может использоваться для определения (прогнозирования) вольт-амперной характеристики ЛЦУ для различных комбинаций, внедренных в ЛЦУ атомов без проведения экспериментов следующим образом. Номера и группы атомов (в соответствии с периодической таблицей элементов Менделеева), толщина пленки ЛЦУ и одно интересующее значение напряжения устанавливаются во входном слое ИНС. После этого «черный ящик» мгновенно вычисляет соответствующее этому набору данных значение тока, а также (!) непосредственно всю вольт-амперную характеристику. Пример представлен на рис. 1.

Проверка и оценка модели. Общепринятым методом проверки ИНС-моделей является перекрестная проверка с исключением.

Перекрестная проверка – метод формирования обучающего и тестового множеств для проверки модели. В его основе лежит разделение исходного множества данных на k примерно равных блоков, например $k = 5$. Затем на k–1, т.е. на 4 блоках, производится обучение модели, а 5-й блок используется для тестирования. Процедура повторяется k раз, при этом на каждом проходе для проверки выбирается новый блок, а обучение производится на оставшихся. После чего по методу «что – если» определяется выходная характеристика пятой выборки при фиксированных входных значениях. На рис. 2 приведены результаты перекрестной проверки созданной ИНС-модели.

Из рис. 2 видно, что моделируемые выходные значения («пров.») хорошо соответствуют реальным («реал.»), поэтому можно считать, что полученные ИНС-модели хорошо решают поставленную задачу.

Работу по моделированию электрофизических и оптических характеристик ЛЦУ при различных комбинациях атомов элементов периодической таблицы Менделеева, внедряемых в ЛЦУ, планируется продолжить. Цель ее – создание базы знаний характеристик пленок ЛЦУ, позволяющей определять перспективные с точки зрения твердотельной электроники, солнечной энергетики и различного типа сенсоров направления исследований.

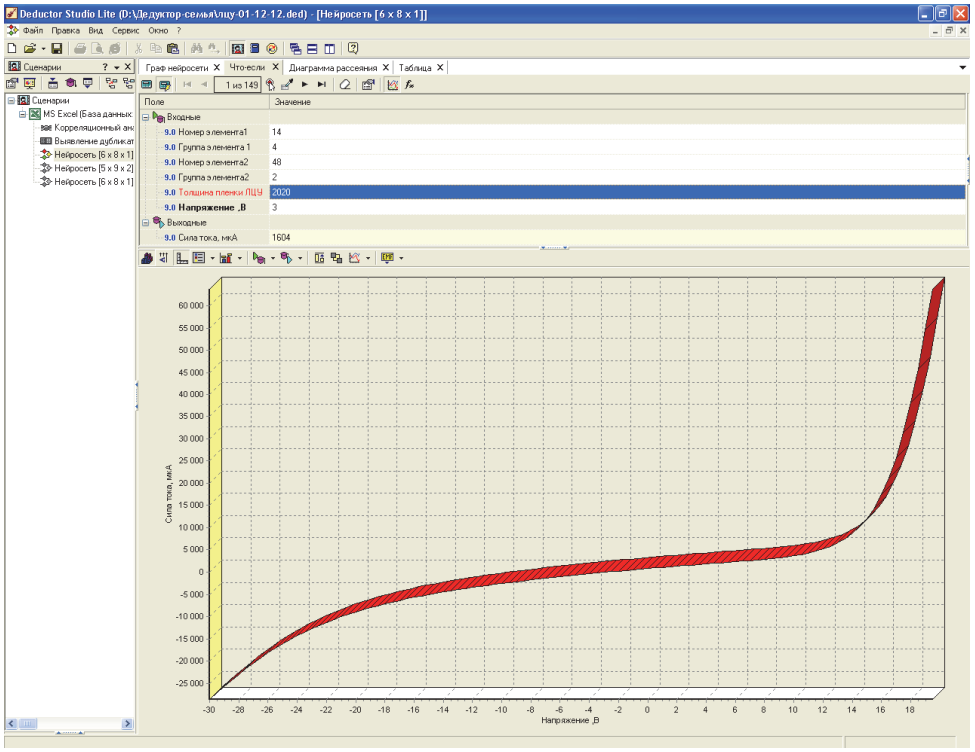


Рис. 1. Аппроксимация вольт-амперной характеристики ЛЦУ АМН с внедренными атомами кремния и кадмия (толщина 200 нм)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	номер блока	номер элемента 1	номер группы 1	номер элемента 2	номер группы 2	лцу	напряжение	реал. Сила тока	пров. Сила тока
2	1	48	2	52	6	2000	-2,74E+00	-9,05E-02	-8,98E-02
3	1	48	2	52	6	2000	-2,41E+00	-6,07E-02	-6,10E-02
4	2	14	4	48	2	1000	1,24E+00	2,59E-05	2,63E-05
5	2	14	4	48	2	1000	1,85E+00	3,47E-05	3,45E-05
6	3	52	6	14	4	2000	-7,07E+00	-6,67E-04	-6,71E-04
7	3	52	6	14	4	2000	-3,84E+00	-8,74E-05	-8,65E-05
8	4	22	4	52	6	1000	-4,53E+01	-4,02E-05	-4,12E-05
9	4	22	4	52	6	1000	-4,33E+01	-3,73E-05	-3,81E-05
10	5	48	2	51	5	1000	1,51E-01	1,19E-04	1,23E-04
11	5	48	2	51	5	1000	7,58E-01	8,35E-04	8,30E-04

Рис. 2. Результаты перекрестной проверки ИНС-модели (два последних столбца)

Выводы. В целом анализ полученных результатов показывает следующее:

1. Полученные ИНС-модели «правильно» определяют вольт-амперную характеристику и спектральный коэффициент пропускания ЛЦУ АМН и являются хорошим инструментом аппроксимации многомерных экспериментальных функций и хорошим средством обобщения и прогнозирования связей между переменными.

2. Полученные ИНС-модели мгновенно вычисляют значения необходимых характеристик и представляют собой специализированный инженерный калькулятор характеристик ЛЦУ АМН, который является самым недорогим способом получения «новых» экспериментальных данных без непосредственного проведения эксперимента.

3. Совокупность полученных ИНС-моделей представляет собой базу знаний ЛЦУ АМН.

Литература

1. *Абруков В.С., Абрукова Л.С., Троешестова Д.А., Петров А.А.* Моделирование закономерностей вибрационного горения с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 178-184.

2. *Абруков В.С., Карлович Е.В., Иванов А.Г.* Моделирование горения конденсированных систем с помощью средств Data Mining // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 184-189.

3. *Белова А.Г., Краснова А.Г., Кокшина А.В., Кочаков В.Д.* Особенности взаимодействия углерода в состоянии Sp^1 с некарбидообразующими металлами // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 41-43.

4. *Васильев А.И., Кочаков В.Д.* Влияние отжига на физические свойства металлоуглеродных пленок // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 189-192.

5. *Кокшина А.В., Белова А.В., Краснова А.Г., Кочаков В.Д.* Особенности взаимодействия пленок селена с углеродом в состоянии sp1 // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 44-46.

6. *Кочаков В.Д., Новиков Н.Д.* Интеркалирование серебра в пленку линейно-цепочечного углерода // Вестник Чувашского университета. 2007. № 2. С. 20-25.

7. *Кочаков В.Д., Новиков Н.Д.* Углеродная электроника // Вестник Чувашского университета. 2007. № 2. С. 25-28.

8. *Кочаков В.Д., Новиков Н.Д., Васильев А.И., Смирнов А.В.* Элементы электроники на основе пленок линейно-цепочечного углерода // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 194-197.

9. *Краснова А.Г., Кокшина А.В., Белова А.В., Кочаков В.Д.* Исследование взаимодействия PbSe с углеродом в состоянии sp1 // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 46-47.

10. Пат. 2360036 РФ, МПК C23C 26/00, C23C 14/06, C23C 14/32, B82B 3/00. Способ получения углеродного наноматериала, содержащего металл / Кочаков В.Д., Новиков Н.Д.; заявитель и патентообладатель. Чуваш. гос. ун-т. № 2007139182/02; заявл. 22.10.2007; опубл. 27.06.2009, Бюл. № 18. 11 с.

11. Применение средств интеллектуального анализа данных (Data Mining) для исследования неполно определенных систем / *В.С. Абруков, Я.Г. Николаева, Д.Н. Макаров и др.* // Вестник Чувашского университета. № 2. 2008. С. 233-241.

12. Разработка моделей неполно определенных систем с помощью самоорганизующихся карт Кохонена / *В.С. Абруков, Я.Г. Николаева, Л.С. Абрукова и др.* // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 241-246.

13. *Славутская Е.В., Абруков В.С., Славутский Л.А.* Интеллектуальный анализ данных психодиагностики школьников предподросткового возраста // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 226-231.

14. *Смирнов А.В., Иванов А.Л., Кочаков В.Д., Васильев А.И.* Плазмонный резонанс в наноструктурах серебро–никель // Вестник Чувашского университета. 2010. № 3. С. 15-18.

15. *Чернов А.С., Троешестова Д.А., Абруков В.С.* Разработка модели адаптивного управления пароперегревателем котлоагрегата с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник Чувашского университета. 2010. № 3. С. 317-322.

АБРУКОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ. См. с. 52.

СМИРНОВ АЛКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ – аспирант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (fizteh21@yandex.ru).

SMIRNOV ALEXANDER VYACHESLAVOVICH – post-graduate student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 535.31, 681.7.06
ББК 22.3

Р.С. ЗАКИРУЛЛИН

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА С УГЛОВЫМ СЕЛЕКТИВНЫМ СВЕТОПРОПУСКАНИЕМ

Ключевые слова: *оптический фильтр, чередующиеся полосы, направленное светопропускание, смещение преломленного луча, линия регулирования.*

Описан метод графоаналитического расчета направленного светопропускания оптического фильтра. Фильтр обладает свойством углового селективного регулирования светопропускания за счет относительного расположения решеток с чередующимися пропускающими и поглощающими полосами на двух поверхностях. Установлены закономерности влияния различных комбинаций ширин полос на результаты регулирования.

R.S. ZAKIRULLIN

GRAPHIC-ANALYTICAL CALCULATION OF OPTICAL FILTER WITH ANGULAR SELECTIVE LIGHT TRANSMISSION

Key words: *optical filter, alternating strips, directional light transmission, offset of refracted beam, line of regulation.*

A graphic-analytical method to calculate directional light transmission of optical filter is presented. The filter has property of angular selective regulation of the light transmission due to relative position of gratings with alternating transmissive and absorptive strips on two surfaces. Regularities of the effect of various combinations of widths of the strips on the regulation outcomes are set.

Угловое селективное регулирование направленного светопропускания востребовано при движении источника света и остекленной конструкции друг относительно друга. Особенный интерес представляет регулирование проходящего в помещение дневного света при постоянном движении солнца относительно окна. Для этого применяются различные дополнительные устройства перераспределения световых потоков. В статье оконная конструкция рассматривается как оптический фильтр для регулирования светопропускания без дополнительных устройств. Расчет коэффициентов отражения и пропускания многослойных покрытий оптических фильтров основан на формулах Френеля [8]. Свойства светопропускания оконных систем с жалюзи рассчитываются на основе функции распределения двунаправленного пропускания [3]. Для изменения спектра и интенсивности проходящего в помещение солнечного излучения применяются передовые смарт-стекла различных типов с тонкопленочными покрытиями [7], фотохромными [5], электрохромными [4] и жидкокристаллическими [9] слоями.

Разработан новый способ углового селективного регулирования светопропускания за счет формирования на поверхностях остекленной конструкции пропускающих полос, чередующихся с поглощающими, рассеивающими или отражающими полосами [2, 6]. Селективность светопропускания такого оптического фильтра обеспечивается за счет взаимного расположения двух поверхностных решеток с чередующимися полосами. Угловые оптические характеристики фильтра рассчитываются графоаналитическим методом [1] на основе законов геометрической оптики. В статье установлены основные закономерности влияния ширин чередующихся полос и их расположения на результаты регулирования.

Расчет направленного светопропускания. Графоаналитический расчет плоскопараллельного решеточного фильтра (рис. 1) проводится для случая падения параллельных лучей. Показатель преломления и толщина стекла фильтра $n = 1{,}5$ и $s = 4$ мм. При характеристическом угле падения Θ_{30}, равном 30°, центральный падающий луч последовательно проходит через центры чередующихся полос входной и выходной решеток. Шаги полос (суммарные ширины двух соседних чередующихся полос) на обеих решетках равны: $t_1 + t_2 = t_3 + t_4 = 4$ мм, где t_1 и t_2 – ширины пропускающих и поглощающих полос на входной решетке, t_3 и t_4 – то же на выходной решетке.

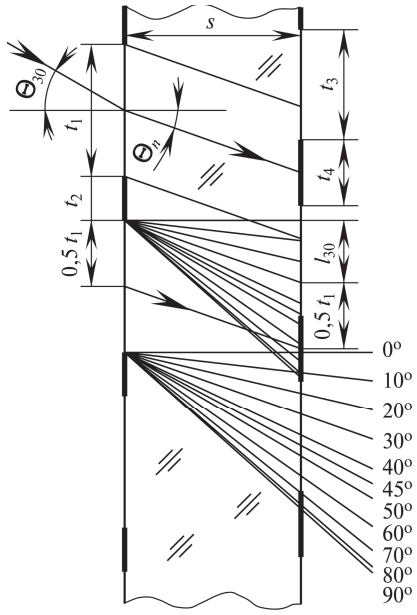


Рис. 1. Расчетная схема решеточного оптического фильтра

Для плоскопараллельного фильтра коэффициент направленного светопропускания τ рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{h}{t_1 + t_2}, \qquad (1)$$

где h – ширина светопропускания (ширина части пропускающих полос выходной решетки, через которую преломленные лучи направленно проходят в пределах одного шага полос) при данном угле падения Θ, который определяется через функцию смещения [1] – угловую зависимость смещения l преломленного луча на выходной поверхности относительно непреломленного луча при нормальном угле падения:

$$l = \frac{s \sin\Theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\Theta}}. \qquad (2)$$

Коэффициент светопропускания рассчитывается для пяти фильтров с разными комбинациями ширин чередующихся полос и их взаимного расположения (таблица). На рис. 1 приведена расчетная схема фильтра № 1. Указаны преломленные лучи для углов падения от от 0° до 90° через каждые 10° и для угла 45°, показывающие для этих углов падения границы направленного светопропускания через входную решетку фильтра.

Для диапазона углов падения от 0° примерно до 14° при анализе рис. 1 получена расчетная формула для ширины светопропускания:

$$h = 0{,}5t_1 - 0{,}5t_4 + l_{30} - l, \qquad (3)$$

где l_{30} – смещение преломленного луча для характеристического угла.

Примерно при угле падения 14°, когда самый нижний луч, прошедший направленно через входную решетку, после преломления точно попадает на нижний край поглощающей полосы выходной решетки, смещение равно: $l = -0{,}5t_1 + 0{,}5t_4 + l_{30}$. Этот угол падения является экстремальным, его величина точно определяется через функцию арксинус путем подстановки в формулу (2) вычисленного значения смещения – 14,22°.

При дальнейшем увеличении угла падения выделены еще три диапазона с одинаковым характером изменения ширины светопропускания, разделенные экстремальными углами. От 14,22° до 45,55° (величина угла определена из условия $l = 0{,}5t_1 - 0{,}5t_4 + l_{30}$) ширина светопропускания не изменяется и равна $h_i = t_1 - t_4$. От 45,55° до 68,53° (из условия $l = -0{,}5t_1 + t_3 + 0{,}5t_4 + l_{30}$) ширина светопропускания возрастает по формуле:

$$h = 0{,}5t_1 - 0{,}5t_4 - l_{30} + l. \qquad (4)$$

От 68,53° до 90° ширина светопропускания не изменяется и равна $h = t_3$.

Для четырех участков регулирования рассчитаны коэффициенты светопропускания по формуле (1), и на рис. 2 построена линия регулирования 1 (угловая характеристика светопропускания для фильтра № 1).

Геометрические параметры фильтров

№ фильтра	Ширина полосы, мм				Полосы прохождения центрального луча
	t_1	t_2	t_3	t_4	$t_i : t_i$
1	3	1	2,5	1,5	$t_1 : t_4$
2	3	1	1,0	3,0	$t_1 : t_4$
3	2	2	2,0	2,0	$t_1 : t_4$
4	3	1	3,0	1,0	$t_1 : t_3$
5	2	2	2,0	2,0	$t_1 : t_3$

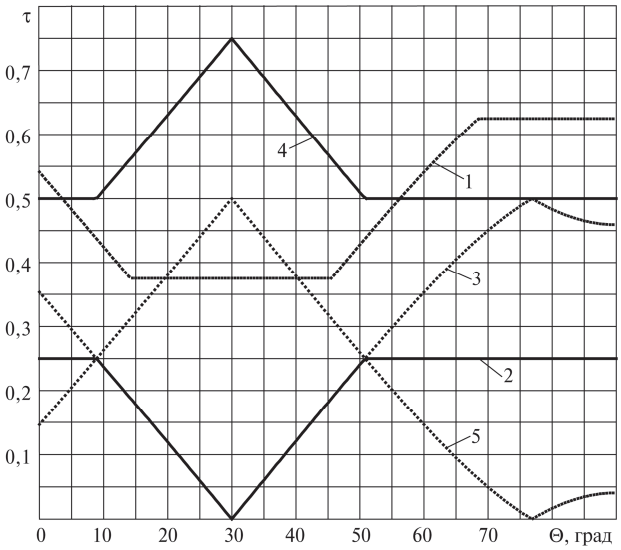


Рис. 2. Угловые характеристики светопропускания фильтров № 1–5

Линии 2-5 на рис. 2 получены по результатам аналогичных графоаналитических расчетов фильтров № 2-5 с параметрами из таблицы.

Сравнение пяти линий регулирования при разных комбинациях ширин полос и их взаимного расположения позволяет сделать следующие выводы:

– участки возрастания и убывания коэффициента светопропускания при углах падения примерно до 60° практически эквидистантны, линейны и симметричны относительно характеристического угла 30°, так как синусоидальная зависимость по формуле (2), влияющая на расчеты этих участков по формулам (3) и (4), в этом диапазоне близка к линейной;

– при больших углах падения регулирование в зависимости от угла падения ослабевает – линии становятся более пологими (линии 3 и 5 по отношению к линии 1), что также связано с синусоидальной зависимостью – синусы больших углов изменяются медленнее;

– при замене местами пропускающих и поглощающих полос на выходной решетке линии регулирования осесимметричны относительно горизонталей (линии 2 и 3 по отношению к линиям 4 и 5, соответственно);

– минимум светопропускания наблюдается в некотором диапазоне углов падения симметрично относительно характеристического угла, когда ширина поглощающей полосы на выходной решетке меньше ширины пропускающей полосы на входной решетке ($t_4 < t_1$ для линии 1, причем при приближении значений этих ширин друг к другу угловой диапазон одинакового минимального пропускания сужается);

– при равенстве ширин пропускающей полосы на входной решетке и поглощающей полосы на выходной решетке ($t_1 = t_4$ для линий 2 и 3) коэффициент светопропускания равен 0 (для линий 4 и 5 при равенстве ширин пропускающих полос обеих решеток соответственно при характеристическом угле наблюдается максимум светопропускания).

Выводы. Полученные результаты необходимо учитывать при применении данного способа углового селективного регулирования направленного светопропускания для достижения оптимальных параметров путем подбора ширин чередующихся полос обеих решеток и их взаимного расположения. Вместо поглощающих полос возможно также применение рассеивающих или отражающих полос, что не влияет на результаты графоаналитического расчета направленного светопропускания.

Литература

1. *Закируллин Р.С.* Селективное регулирование направленного светопропускания по углам падения лучей // ЖТФ. 2012. Т. 82, вып. 10. С. 134-136.

2. Способ регулирования направленного светопропускания: заявка 2012130148 РФ МПК7 G 02 B 5/20 / Закируллин Р.С. (РФ); заявитель Закируллин Р.С. № 2012130148/28; заявл. 17.07.12; опубл. 10.11.12. Бюл. № 31; приоритет 11.05.10, № 2010/000234 (PCT).

3. *Andersen M., Rubin M., Powles R., Scartezzini J.-L.* Bi-directional transmission properties of Venetian blinds: experimental assessment compared to ray-tracing calculations // Solar Energy. 2005. № 78(2). P. 187-198.

4. *Andersson A.M., Granqvist C.G., Stevens J.R.* Electrochromic Li_xWO_3/poymer laminate/$Li_yV_2O_5$ device: toward an all-solid-state smart window // Appl. Opt. 1989. Vol. 28. P. 3295-3302.

5. *Crow J.D., Borrelli N.F., Seward III T.P., Chodak J.* Lightguiding in Photochromic Glasses // Appl. Opt. 1975. Vol. 14. P. 580-585.

6. Expedient of regulation of the directional gear transmission of light: application 13/138,812 US: IPC7 G 02 B 5/22 / U.S. Cl. 359/359; 359/613 / Zakirullin R.S. (Russian Federation); applicant Zakirullin R.S. № 2012/0057225; fil. 29.09.11; publ. 08.03.12; priority 11.05.10, № 2010/000234 (PCT).

7. *Horowitz F., Pereira M.B., de Azambuja G.B.* Glass window coatings for sunlight heat reflection and co-utilization // Appl. Opt. 2011. Vol. 50. P. C250-C252.

8. *Mazilu M., Miller A., Donchev V. T.* Modular Method for Calculation of Transmission and Reflection in Multilayered Structures // Appl. Opt. 2001. Vol. 40. P. 6670-6676.

9. *Sueda K., Tsubakimoto K., Miyanaga N., Nakatsuka M.* Control of spatial polarization by use of a liquid crystal with an optically treated alignment layer and its application to beam apodization // Appl. Opt. 2005. Vol. 44. P. 3752-3758.

ЗАКИРУЛЛИН РУСТАМ САБИРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики, Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург (rustam.zakirullin@gmail.com).

ZAKIRULLIN RUSTAM SABIROVICH – candidate of technical sciences, associate professor of Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydromechanics Chair, Orenburg State University, Russia, Orenburg.

УДК 546.26.538.97
ББК Г124.1

А.В. КОКШИНА, В.Д. КОЧАКОВ, А.Г. КРАСНОВА

ФОТОАКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Ключевые слова: *металл-углеродные пленки, кадмий, углерод в состоянии Sp^1.*

Представлены результаты исследования фотоактивных пленочных систем металл–углерод на примере системы кадмий – линейно-цепочечный углерод (Cd–ЛЦУ). Приведены РФЭ-спектры и вольт-амперные характеристики систем. Определена ширина запрещенной зоны данных систем.

A.V. KOKSHINA, V.D. KOCHAKOV, A.G. KRASNOVA

PHOTOAKTIVITY THE METALL-CARBON FILMS

Key words: *metal-carbon films, cadmium, carbon in the state Sp^1.*

The article presents results of study photoactivity film systems of metal-carbon, for the example – cadmium-linear chain carbon (Cd–LCC). We defined the band gap of this system.

В настоящее время внимание многих исследователей привлечено к изучению различных фотоактивных соединений. Это обусловлено возможностью практического применения данных соединений в качестве фотосопротивлений, различных датчиков, солнечных элементов. Фотопроводимость – увеличение электропроводности под действием света. Как известно, фотоактивные свойства чаще всего проявляют соединения кадмия, теллура, селена. Бинарные соединения этих элементов довольно хорошо изучены.

В данной работе представлены результаты исследования тонкопленочной системы Cd-ЛЦУ, обладающей фотоактивными свойствами.

Внедрение атомов кадмия в межцепочечное пространство линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) может происходить без химического взаимодействия (интеркалирование) или с разрывом π-связи, которое может закончиться реакцией присоединения. В первом и во втором случае получается металлсодержащая модифицированная углеродная пленка с новыми свойствами [1].

Система Cd-ЛЦУ синтезировалась следующим способом: на покровное стекло термическим испарением в вакууме наносилась пленка кадмия, затем на пленку кадмия ионно-плазменным способом синтезировались пленки ЛЦУ толщиной 100 нм и 200 нм, на 99% состоящие из углерода в Sp^1 состоянии. Далее пленки отжигалась при температуре 450°С в вакуумной печи МИМП-ВМ с заданной глубиной вакуума 0,95 бар. В результате термической обработки двухслойная система Cd-ЛЦУ превратилась в однородную (на макроуровне) систему.

Исследование оптических свойств и морфологии поверхности данной системы приведены в работе [1].

Рентгенофотоэлектронный спектр (РФЭС) системы Cd-ЛЦУ приведен на рис. 1. Исследование проводили на приборе LAS-3000 («Riber»), оснащенном полусферическим анализатором с задерживающим потенциалом ОРХ-150. Для возбуждения фотоэлектронов использовали рентгеновское излучение алюминиевого анода (AlK_α = 1486,6 эВ) при напряжении на трубке 12 кВ и токе эмиссии 20 мА. Калибровку фотоэлектронных пиков проводили по линии углерода С 1s с энергией связи (Есв) 285 эВ.

Стрелкой указан один из максимумов чистого кадмия в состоянии Cd3d3. Верхний спектр относится к кадмию, находящемуся в пленочной системе Cd–ЛЦУ после термообработки. Наблюдается положительный химический сдвиг, равный 0,8 эВ, который свидетельствует о возможной реакции присоединения атомов кадмия к линейной цепочке углерода через разрыв π-связи при отжиге [1].

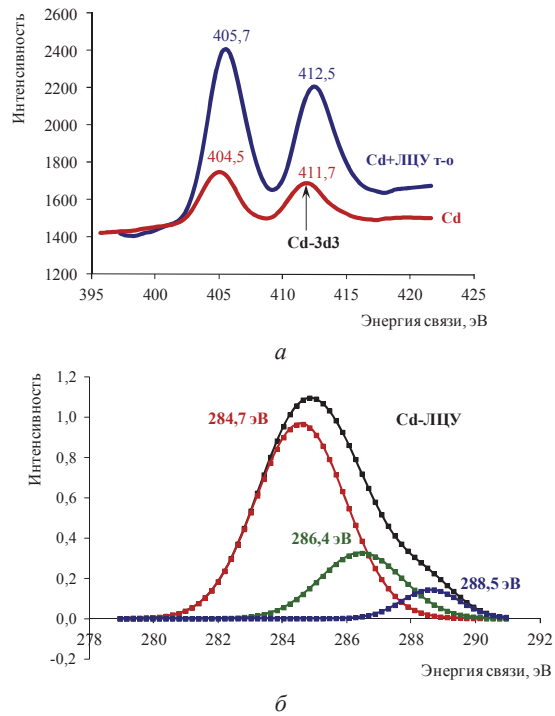
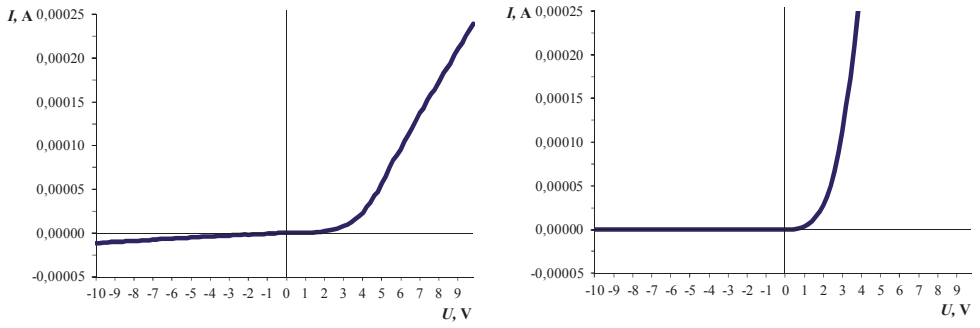


Рис. 1. РФЭ-спектры системы Cd (*а*) и углерода (*б*) в системе Cd-ЛЦУ

В наших исследованиях из всех экспериментально изученных металл-углеродных систем система Cd+ЛЦУ имеет лучшие характеристики по фотоактивности. Данная система была применена для создания нелинейного фотоактивного элемента с диодной характеристикой. С этой целью на подложке кремния с собственной проводимостью формировалась двухслойная пленка кадмий – ЛЦУ. До отжига система имела вольт-амперную характеристику, которая показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2, увеличение толщины пленки ЛЦУ улучшает вольт-амперную характеристику полученных диодов. После отжига система приобретает фотоактивность. Иллюстрация фотоактивности представлена на рис. 3.



а *б*

Рис. 2. ВАХ системы Cd-ЛЦУ 100 нм (*а*) и Cd-ЛЦУ 20 нм (*б*) на подложке из кремния

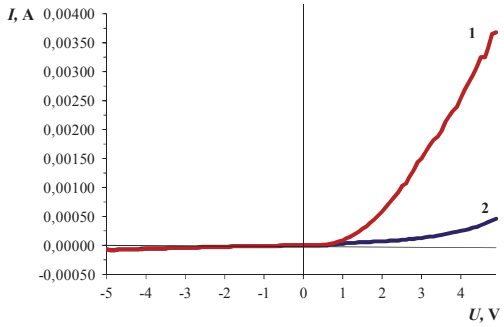
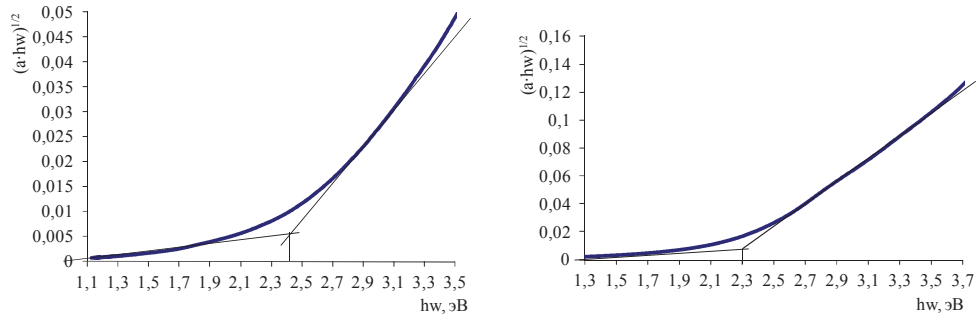


Рис. 3. Фотоотклик системы Si–Cd–ЛЦУ после термообработки:
1 – освещенный; 2 – темновой

Расчет ширины запрещенной зоны систем проводился оптическим методом, описание которого приведено в работе [2]. Была рассчитана ширина запрещенной зоны для систем Cd-ЛЦУ с толщиной слоя ЛЦУ 100 нм и 200 нм (рис. 4). Проведя касательную к наиболее линейному участку графика, мы получаем значение ширины запрещенной зоны. Для системы Cd-ЛЦУ 100 нм ширина запрещенной зоны составила примерно 2,52 эВ, а для системы Cd-ЛЦУ 200 нм – 2,39 эВ.



а *б*

Рис. 4. Расчет ширины запрещенной зоны для системы Cd-ЛЦУ 100 нм (*а*) и Cd–ЛЦУ 200 нм (*б*)

Как видно из рис. 4, увеличение толщины пленки ЛЦУ также влияет на ширину запрещенной зоны системы, уменьшая её.

Литература

1. *Белова А.В., Кокшина А.В., Кочаков В.Д.* Особенности взаимодействия углерода в состоянии Sp^1 с некарбидообразующими металлами // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С 41-43.

2. *Василевский А.М., Коноплев Г.А., Панов М.Ф.* Оптико-физические методы исследований: лабор. практикум по дисциплине «Оптико-физические методы исследований». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 96 с.

КОКШИНА АННА ВЛАДИМИРОВНА – магистрант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (annika21@mail.ru).

KOKSHINA ANNA VLADIMIROVNA – master's program student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КОЧАКОВ ВАЛЕРИЙ ДАНИЛОВИЧ – кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (kocherishca@mail.ru).

KOCHAKOV VALERIY DANILOVICH – candidate of technical sciences, professor of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КРАСНОВА АЛИСА ГЕННАДЬЕВНА – аспирант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (aliska816@mail.ru).

KRASNOVA ALISA GENNADEVNA – post-graduate student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 535.41: 004.9
ББК 22.3

Д.А. ТРОЕШЕСТОВА, В.С. АБРУКОВ

РЕШЕНИЕ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ОПТИКИ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНЫХ ДАННЫХ

Ключевые слова: *оптика, интерферометрия, обратные и прямые задачи, искусственные нейронные сети, диагностика, контроль, управление.*

Рассмотрены новые методы решения прямых и обратных задач оптики с помощью искусственных нейронных сетей. Показана возможность решения задач на основе неполных данных о функции распределения сигнала в плоскости регистрации, в частности на основе измерения одного ее значения. Предложенный метод может быть использован для создания автоматизированных систем диагностики, контроля и управления в различных областях научных и прикладных исследований, а также в промышленности.

D.A. TROESHESTOVA, V.S. ABRUKOV

SOLUTION OF DIRECT AND INVERSE PROBLEMS OF OPTICS ON INCOMPLETE DATA

Key words: *optics, inverse and direct problems, artificial neural networks, diagnostics, control.*

New methods of the solution of inverse problems of optics and its direct tasks by means of artificial neural networks are considered. The possibility of the solution of tasks on incomplete data of signal distribution function in the registration plane in particular by means of one-point-measurement is shown. The method can be used for creation of the automated systems for diagnostics, testing and control in various areas of scientific and applied researches, and also in the industry.

Существует много оптических методов диагностики, для которых регистрируемый сигнал (например, интенсивность света) представляет собой значение интеграла вдоль оптического пути луча в объекте. Это так называемые интегральные методы. В некоторых случаях эти методы могут быть использованы для определения как интегральных, так и локальных характеристик объектов [2, 9]. Среди них: методы видеорегистрации излучения или поглощения в различных спектральных диапазонах, теневые методы, интерферометрия, методы малоуглового рассеяния, методы абсорбционной спектроскопии, рентгеновские методы и т.д.

Для того чтобы определить интегральные характеристики объекта, эти методы требуют интегрирования функции распределения интенсивности сигнала в плоскости регистрации. Такой процесс называется прямой задачей. Для определения локальных характеристик объекта необходимо решение обратной задачи оптики, требующей ре-

шения интегрального уравнения. То есть необходимо найти значения подынтегральной функции по заданным значениям интеграла. Решению обеих задач должно предшествовать измерение полного распределения интенсивности сигнала в плоскости регистрации. Это трудная задача для нестационарных объектов и невыполнимая задача, если объект не может быть зарегистрирован (визуализирован) полностью.

Одним из эффективных методов исследования различных объектов является интерферометрия – интегральный метод, имеющий широкие возможности для полного исследования объекта. Он позволяет определить как локальные характеристики, такие как температурное поле или поле плотности, например, в пламени, так и интегральные характеристики, такие как масса пламени, архимедова сила, действующая на пламя, количество тепла в пламени и т.д. [2, 9].

Но для того, чтобы определить эти характеристики, необходимо, в первую очередь, измерить функцию распределении разности фаз в области интерферограммы объекта $S(x, y)$ (получить большой набор дискретных значений этой функции). Это делается вручную, следовательно, результаты имеют субъективный характер и во многом зависят от опыта исследователя. Кроме того, процесс измерения большого числа значений $S(x, y)$ является весьма трудоемким. Эти обстоятельства ограничивают уровень использования интерферометрии в исследовании процессов горения. Необходимо также отметить, что возможность полного измерения $S(x, y)$ существует только в случае идеальных условий эксперимента. Существует много случаев реального эксперимента, когда невозможно измерить $S(x, y)$ полно и точно и, следовательно, реализовать широкий потенциал интерферометрии. В любом случае, после того как получено множество измеренных значений $S(x, y)$, необходимо их либо проинтегрировать в плоскости интерферограммы (прямая задача, связанная с определением интегральных характеристик), либо продифференцировать (обратная задача, связанная с определением локальных характеристик). Таким образом, полная реализация всех возможностей интерферометрии сопряжена с большими трудностями.

В данной работе мы предлагаем методы, основанные на применении искусственных нейронных сетей (ИНС), которые позволяют устранить эти трудности.

Возможности искусственных нейронных сетей. Цель исследования. ИНС могут рассматриваться как универсальный инструмент многомерной аппроксимации [12]. Теорема Хехт-Нильсена (адаптация теоремы Колмогорова – Арнольда для ИНС) утверждает, что любая многомерная функция нескольких переменных может быть представлена с помощью нейронной сети фиксированной размерности. Это позволяет использовать ИНС для решения задач аппроксимации многомерных функций во всех случаях, когда обычные методы приближения либо не могут быть использованы либо дают неудовлетворительные результаты. ИНС имеют такие свойства, как параллельность обработки информации (большая скорость вычисления), способность к обучению и самообучению, устойчивость вычислений, надежность вычислений. Эти свойства очень важны в системах управления.

ИНС имеют преимущества по сравнению с классическими математическими методами вычислений в трех случаях:

1. Когда задача не может быть адекватно формализована, так как она содержит неопределенности.

2. Когда задача может быть формализована, но не существует математического аппарата для ее решения.

3. Когда задача может быть формализована и есть математический аппарат для ее решения, но осуществление расчетов с помощью доступных вычислительных систем не отвечает требованиям к решению задачи по каким-либо параметрам (например, скорости вычислений).

Основным преимуществом ИНС при моделировании является то, что они могут быть использованы для решения задач, которые не имеют алгоритмического решения. При использовании ИНС могут быть обнаружены закономерности поведения системы

даже на основе неточных или неполных данных о характеристиках системы. Это особенно важно, когда система характеризуется многими параметрами и определение их части является технически неосуществимым.

Примеры применения ИНС в научных и прикладных исследованиях приведены в [1-7, 11].

Цель работы – показать, что определение интегральных и локальных характеристик объекта возможно на основе неполного набора значений $S(x, y)$. Более того, в работе показано, что ИНС позволяют решать прямые и обратные задачи оптики с помощью только одного значения интеграла (величины оптического сигнала, «измеренного» в удобной точке плоскости регистрации). С помощью обычных алгоритмических методов это невозможно в принципе.

Ниже, на примере интерферометрии пламени, описаны методы получения вычислительных ИНС-моделей для решения обратной и прямой задач оптики и полученные к настоящему времени результаты. Показаны возможности использования одного значения интеграла для определения полного распределения температуры в пламени, а также количества тепла в нем для случая известной симметрии объекта.

Решение обратной задачи оптики. Анализ результатов. Рассмотрим задачу определения подынтегрального выражения с помощью одного значения интеграла на примере интегрального уравнения Абеля для случая цилиндрической симметрии объекта. При ее решении было использовано безразмерное интегральное уравнение Абеля, которое соответствует поперечному сечению пламени.

$$S(p) = 2\int_0^{\sqrt{1-p^2}} (n_0 - n(r))dz, \qquad (1)$$

где $S(p)$ – безразмерная разность фаз; z – путь луча в пламени; p – так называемое прицельное расстояние ($0 < p < 1$); r – переменный радиус, причем $z^2 + p^2 = r^2$ (рис. 1); n_0 – показатель преломления невозмущенной среды, окружающей пламя; $n(r)$ – распределение показателя преломления в пламени.

База данных для обучения ИНС была получена следующим образом. Используя уравнение (1), мы нашли интегралы $S(p)$ от различных подынтегральных выражений вида $n_0 - n(r) = 1 + ar - br^2$, где a и b – различные числа. Всего было использовано семь функций, отражающих реально существующие распределения температуры и других термодинамических параметров в пламенах и газодинамических потоках:

$$n(r) = 1 - r^2;\ n(r) = 1 + 0{,}1r - 1{,}1r^2;\ n(r) = 1 + 0{,}3r - 1{,}3r^2;\ n(r) = 1 + r - 2r^2;$$

$$n(r) = 1 + 2r - 3r^2;\ n(r) = 1 + 3r - 4r^2;\ n(r) = 1 + 4r - 5r^2.$$

Затем конкретные значения $n_0 - n(r) = 1 + ar - br^2$ были рассчитаны для различных значений радиуса, а конкретные значения полученных $S(p)$ были рассчитаны для различных значений p. Входными данными при обучении ИНС были значения r, p и $S(p)$. Значения $n_0 - n(r)$ были выходными данными. Всего мы использовали приблизительно 700 наборов значений r, p, $S(p)$ и $n_0 - n(r)$.

После обучения ИНС (с помощью хорошо известного метода «обратного распространения ошибки» [6, 11, 12]) правильному отражению входных данных в выходные мы получили вычислительную ИНС-модель решения обратной задачи.

При использовании полученной ИНС-модели измеренное в реальном эксперименте безразмерное значение S и соответствующее значение p, а также требуемое значение r устанавливаются на входе ИНС-модели. После этого ИНС-модель мгновенно вычисляет безразмерное значение $n_0 - n(r)$. Реальное значение $n_0 - n(r)$ получается с помощью переводного множителя и затем может быть

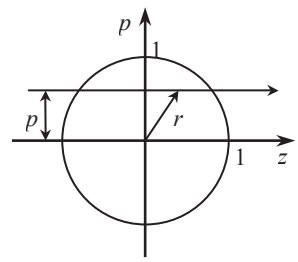


Рис. 1. Геометрия поперечного сечения пламени

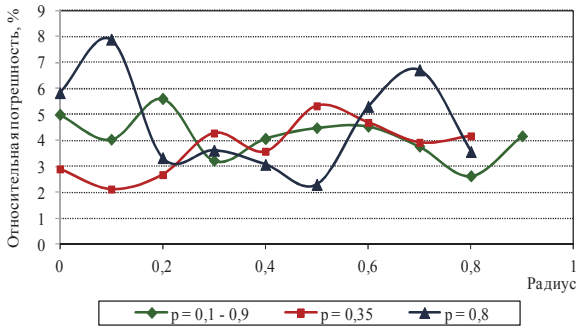


Рис. 2. Погрешность расчета с помощью ИНС-модели подынтегральной функции $n(r) = 1 + 0{,}5r - 1{,}5r^2$ для различных значений прицельного расстояния p

конвертировано в реальное значение температуры с помощью известных формул [9].

Результаты проверки работы ИНС для подынтегральной функции $n(r) = 1 + 0{,}5r - 1{,}5r^2$, значения которой не участвовали в обучении, представлены на рис. 2, где приведены погрешности определения подынтегральной функции для двух значений прицельного расстояния и погрешности, усредненные по всем прицельным расстояниям в интервале от 0,1 до 0,9. Как показывают результаты, ошибка расчета подынтегральной функции не превышают 5-8%.

Решение прямой задачи оптики. В случае прямой задачи для определения интегральных характеристик пламени, например массы или количества тепла в поперечном сечении пламени, значения которых могут быть рассчитаны через значение интеграла $\int S(p)dp$ [9], входными данными при обучении ИНС являются значения $S(p)$ и p. Значения $\int S(p)dp$ являются выходными. При использовании полученной ИНС-модели измеренное в реальном эксперименте безразмерное значение S и соответствующее значение p подаются на вход ИНС-модели. Тогда после запуска ИНС-модели на выходе получается значение интеграла $\int S(p)dp$. Реальное значение массы или количества тепла получается с помощью переводного множителя [9].

Выводы. Данные возможности ИНС очень важны в ряде реальных случаев оптической диагностики, например, когда объект не может визуализироваться в целом или в случае оптически «толстого» объекта, а также в других случаях, когда обычные методы решения прямых и обратных задач не могут использоваться или дают большие ошибки. Они могут принципиально расширить возможности «непанорамных» оптических методов, которые не позволяют получать полные распределения интегралов, например оптоволоконных методов, методов абсорбционной спектроскопии, как в диагностике, так и при создании автоматизированных систем управления.

Кроме того, следует отметить одну принципиально новую для оптических методов возможность. В случае однородных объектов ИНС позволяют решать еще одну принципиально не решаемую с помощью обычных алгоритмических методов задачу определения формы, размера и ориентации объекта известной геометрии с помощью всего лишь одного значения функции распределения сигнала в плоскости регистрации (рентгеновские методы).

К основным преимуществам данного подхода к решению прямых и обратных задач оптики относится следующее:

1) ИНС-модели позволяют вычислять распределение локальных характеристик объекта посредством измерения только в одной точке плоскости регистрации сигнала;

2) создание ИНС-моделей не требует дополнительных реальных экспериментов. Они могут быть получены с помощью базы данных, созданной с использованием простых численных расчетов;

3) ИНС-модели могут использоваться для всех оптических и неоптических методов, для которых непосредственно измеряемый сигнал является интегралом по линии регистрации;

4) ИНС-модели могут быть созданы для объектов с любым видом симметрии.

Результаты исследования показывают, что ИНС-технологии могут существенно расширить возможности оптических и неоптических методов диагностики. Соединение этих возможностей с разработанными подходами и компьютерными программами для автоматической обработки и анализа изображений [8, 10] позволяет полностью автоматизировать определение интегральных и локальных характеристик объекта и создать основы для создания полностью автоматизированных систем управления.

Литература

1. *Абруков В.С., Абрукова Л.С., Троешестова Д.А., Петров А.А.* Моделирование закономерностей вибрационного горения с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 178-184.

2. *Абруков В.С., Андреев И.В., Кощеев И.Г.* Оптические методы: автоматизированная обработка данных и возможности ее применения в фундаментальных исследованиях процессов горения и системах управления // Химическая физика. 2001. Т. 20, № 5. С. 10-16.

3. *Абруков В.С., Карлович Е.В., Иванов А.Г.* Моделирование горения конденсированных систем с помощью средств Data Mining // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 184-189.

4. Применение средств интеллектуального анализа данных (Data Mining) для исследования неполно определенных систем / *В.С. Абруков, Я.Г. Николаева, Д.Н. Макаров и др.* // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 233-241.

5. Разработка моделей неполно определенных систем с помощью самоорганизующихся карт Кохонена / *В.С. Абруков, Я.Г. Николаева, Л.С. Абрукова и др.* // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 241-246.

6. *Славутская Е.В., Абруков В.С., Славутский Л.А.* Интеллектуальный анализ данных психодиагностики школьников предподросткового возраста // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 226-231.

7. *Чернов А.С., Троешестова Д.А., Абруков В.С.* Разработка модели адаптивного управления пароперегревателем котлоагрегата с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник Чувашского университета. 2010. № 3. С. 317-322.

8. *Abrukov V.S.* Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications V / ed. by M.M. Blouke, N. Sampat, R.J. Motta // Proc. of the IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging (2004, 18-22 January, San Jose, CA USA), SPIE, Bellingham, WA, 2004. Vol. 5301. P. 1-6.

9. *Abrukov V.S., Andreev I.V., Deltsov P.V.* Optical Methods for Data Processing in Heat and Fluid Flow. L.: Professional Engineering Publishing, 2002. P. 247-266.

10. *Abrukov V.S., Smirnov V.E., Ivanov D.G.* Applications of Digital Image Processing XXVII / Ed. Andrew G. Tescher // Proc. of the 49th SPIE's Meeting (2004, 2-6 August, Denver, CO, USA), SPIE. Bellingham, WA, 2004. Vol. 5558.

11. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools / *S.V. Abrukov, E.V. Karlovich, V.N. Afanasyev et al.* // International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. № 9(5). P. 385-396.

12. Neural Networks for Instrumentation, Measurement and Related Industrial Applications. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Neural Networks for Instrumentation, Measurement, and Related Industrial Applications (9-20 October 2001, Crema, Italy) / Ed. by S. Ablameyko, L. Goras, M. Gori, V. Piuri // IOS Press. Series 3. Computer and Systems Sciences. 2003. Vol. 185. 329 p.

ТРОЕШЕСТОВА ДАРЬЯ АНАТОЛЬЕВНА – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры системного анализа и математического моделирования, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (sda-chuvsu@yandex.ru).

TROESHESTOVA DARIYA ANATOLYEVNA – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of Systems Analysis and Mathematical Modeling Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (sda-chuvsu@yandex.ru).

АБРУКОВ ВИКТОР СЕРГЕЕВИЧ. См. с. 52.

УДК 546.821-3
ББК 24.1

В.А. ЕФИМОВ, Е.Г. ЗИНОВЬЕВА, Н.Б. ЕФЕЙКИНА

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОКСОТИТАНАТА КАЛИЯ

Ключевые слова: *пероксотитанат калия, тетрахлорид титана, фотометрия титана, определение пероксидных групп.*

Предложен метод получения пероксотитаната калия на основе тетрахлорида титана, гидроксида калия и пероксида водорода. Рентгенофлуоресцентным и фотометрическим методами определено содержание титана в полученном веществе. Йодометрически установлено содержание пероксидных групп. Изучены термостабильность и растворимость пероксотитаната калия в различных средах.

V.A. EFIMOV, E.G. ZINOVYEVA, N.B. EFEIKINA

SYNTHESIS AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POTASSIUM PEROSKOTITANAT

Key words: *peroksotitanat potassium, titanium tetrachloride, photometry of titanium, determination of peroxygen groups.*

The method of synthesis of peroksotitanat potassium is offered on the basis of titanium tetrachloride, potassium hydroxide and hydrogen peroxide. X-rayed-fluorescent and photometric methods are certain maintenance of titan in the got substance. The method of iodimetry is set maintenance of peroxygen groups. Studied thermal stability and solubility of peroksotitanat potassium in different environments.

Пероксидные соединения элементов переходных периодов периодической системы элементов являются одними из малоизученных соединений [4]. Прежде всего это обусловлено невысокой стабильностью пероксидов и возможностью их быстрого разложения. Такие вещества используются во многих процессах, в том числе для очистки воды и воздуха от органических загрязнений [7], а также для уничтожения патогенных микроорганизмов [1, 5, 8]. Поэтому разработка эффективных методов синтеза и изучение физико-химических свойств пероксотитаната калия (ПТК) как донора активного кислорода являются актуальной задачей.

Получение ПТК осуществляли путем взаимодействия $TiCl_4$ с пероксидом водорода в присутствии гидроксида калия по предполагаемой общей схеме (уравнение материального баланса):

$$TiCl_4 + 4H_2O_2 + 8KOH = Ti(OOK)_4\downarrow + 4KCl + 8H_2O.$$

Синтез проводили в четырехгорлой колбе, снабженной механической мешалкой, капельной воронкой, термометром, газоотводом с ловушкой (40%-ный раствор КОН) для утилизации газообразного HCl, образующегося над раствором в результате побочной реакции гидролиза $TiCl_4$ парами воды по схеме:

$$TiCl_4 + 4H_2O = Ti(OH)_4\downarrow + 4HCl\uparrow.$$

Хлористый водород в ловушке и растворе нейтрализуются гидроксидом калия по схеме:

$$HCl\uparrow + KOH = KCl + H_2O,$$

а гидроксид титана (IV) при взаимодействии с пероксидом водорода и гидроксидом калия в растворе приводит к получению целевого продукта – ПТК:

$$Ti(OH)_4 + 4H_2O_2 + 4KOH = Ti(OOK)_4\downarrow + 8H_2O.$$

Следовательно, гидролиз тетрахлорида титана не оказывает влияния на качественный и количественный составы целевых продуктов реакции. Поэтому в дальнейшем для упрощения расчетов выхода ПТК применяли первоначальную общую схему синтеза без учета гидролитических процессов. Поскольку реакция синтеза ПТК экзотермическая, реакционную смесь охлаждали на водяной бане со льдом с температурой 10°С. Тетра-

хлорид титана из капельной воронки малыми порциями (по 0,5-1,0 мл) добавляли к смеси водных растворов 33%-ного пероксида водорода и гидроксида калия (20%- или 40%-ной концентрации) при постоянном перемешивании. При этом наблюдаются саморазогрев смеси (ΔT = 20-40°С) и выделение светло-желтого аморфного вещества. После добавления тетрахлорида титана реакционную смесь перемешивали в течение 30 мин и оставляли на 12 ч. Затем полученный аморфный пастообразный осадок отфильтровывали на воронке Бюхнера, промывали двукратно дистиллированной водой и сушили в мягких условиях (для исключения разложения пероксидных групп) при T = 80-90°С до постоянной массы. Фильтрат оставляли на кристаллизацию. Условия синтеза ПТК приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, синтез ПТК в изученных условиях протекает с высоким выходом. Увеличение в составе реакционной смеси гидроксида калия и пероксида водорода на 10% незначительно снижает выход ПТК. Снижение исходной концентрации раствора КОН от 40% до 20% в опыте 3 приводит к уменьшению выхода ПТК, но синтез при этом протекает в более мягких условиях (меньше выделяется паров HCl) и продукт отличается большей степенью чистоты.

Таблица 1

Условия синтеза ПТК

№ опыта	Состав реагентов, моль				$T_{разог}$, °С	Цвет	Выход, %
	$TiCl_4$	H_2O_2	KOH	H_2O			
1	0,1	0,4	0,8	36	45-50	желтый	92,3
2	0,1	0,44	0,88	40	45-50	желтый	78,3
3	0,1	0,4	0,4	54	30-35	светло-желтый	81,0

Основным признаком наличия пероксидных групп в соединениях титана является появление яркой желто-оранжевой окраски в кислой среде. ПТК растворяется в 0,5н растворе соляной кислоты с образованием стабильного желто-оранжевого раствора, который проявляет окислительно-восстановительную двойственность [3]: 1) восстанавливает перманганат калия в кислой и нейтральной среде (исчезновение характерной фиолетовой окраски); 2) окисляет йодид-ион с выделением свободного йода, который обнаруживается крахмалом. ПТК также окисляет йодид-ион в щелочной среде при pH = 8-9, но за более длительный промежуток времени (20-30 мин). ПТК в концентрированной соляной кислоте разлагается по схеме:

$$Ti(OOK)_4 + 4HCl_{(конц.)} = 2O_2\uparrow + TiO_2\downarrow + 4KCl + 2H_2O.$$

В работе для подтверждения состава ПТК проведен термогравиметрический анализ продуктов реакции на содержание летучих веществ. Установлено, что при температурах более 110°С начинается разложение ПТК, цвет которого при этом меняется от жёлтого до серого. При полном разложении (4 ч, 500°С) потеря массы составила 20,54% (теоретически рассчитанное по уравнению реакции значение содержания летучих веществ – 19,27%). Как известно, разложение пероксидов при нагревании сопровождается выделением кислорода [4], поэтому предполагаемую схему разложения ПТК можно выразить следующим образом

$$Ti(OOK)_4 = 2O_2\uparrow + K_2TiO_3\downarrow + K_2O.$$

Содержание титана в ПТК определяли фотометрически в кислой среде пероксидным методом [6]. Титанил-катион ПТК в кислой среде реагирует с пероксидом водорода по уравнению:

$$TiO^{2+} + H_2O_2 = [TiO{\cdot}H_2O_2]^{2+}.$$

При этом образуется жёлто-оранжевый раствор, который используется для фотометрического определения титана. Измерения оптической плотности проводили на приборе КФК-2 при λ = 410 нм, толщине кюветы l = 3 см, оптимальной кислотности 1-2н по серной кислоте. Для приготовления эталонных растворов брали 4-мерные колбы объемом 50 мл, вводили в каждую из них по 10 мл воды, стандартный раствор сульфата титана (IV) в количестве: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мг, соответственно, добавляли 5 мл 5%-ного раствора H_2SO_4 и 3 мл 3%-ного H_2O_2, объём доводили до метки. Полученные растворы фотометрировали. В качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду. Данные по зависимости оптической плотности (А) от содержания титана в мг для эталонных растворов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость оптической плотности от содержания титана в эталонных растворах

m(Ti), мг	0,5	1,0	1,5	2,0
A	0,12	0,22	0,34	0,45

Для определения содержания Ti в синтезированном ПТК брали навеску исследуемого вещества $m = 0{,}01$ г и готовили раствор для фотометрии аналогично приготовлению эталонных растворов. Для исследуемых растворов значение $A = 0{,}36$, что соответствует содержанию титана $m(\mathrm{Ti}) = 1{,}51$ мг. Следовательно, массовая доля титана в исследуемом образце составляет $\omega(\mathrm{Ti}) = (1{,}51\ \text{мг}/10\ \text{мг}) \cdot 100\% = 15{,}1\%$.

Йодометрический метод нашел широкое применение в аналитическом анализе. Этому способствует невысокий окислительный потенциал йода при восстановлении его в йодид: $I_2\downarrow + 2\bar{e} \leftrightarrow 2I^-$; $E° = +0{,}54$В. Хорошая обратимость этой реакции, небольшая зависимость от pH и присутствия комплексообразователей позволяют подобрать оптимальные условия для количественного определения различных групп веществ [2, 3]. Для определения содержания пероксидных групп в ПТК нами выбран метод, основанный на восстановлении пероксидных групп калия йодидом, при этом йодид-ион количественно окисляется до йода, который оттитровывают раствором тиосульфата натрия в кислой среде; индикатором является крахмал. В склянку с притертой пробкой помещали 0,3 г йодида калия, 15 мл разведенной серной кислоты (1:5), навеску 0,1 г ПТК, перемешивали и оставляли на 15 мин в темноте. По истечении времени выделившийся йод оттитровывали 0,1н раствором тиосульфата натрия до лимонно-желтого окрашивания раствора, приливали 2-3 мл индикатора и продолжали титровать до обесцвечивания раствора. Результаты титрования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты йодометрического титрования ПТК

m(ПТК), г	$N(Na_2S_2O_3)$, моль/л	$V(H_2SO_4, 20\%)$, мл	$V(Na_2S_2O_3)$, л
0,1	0,1	15	0,0055
0,1	0,1	15	0,0055
0,1	0,1	15	0,0055
			$V_{ср.}$=0,0055

Расчет содержания активного кислорода (ОО) в ПТК:

$$\omega(\mathrm{OO}) = (N(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot Э(\mathrm{OO}))/(m(\text{ПТК}) \cdot 100\%) =$$
$$= (0{,}1 \cdot 0{,}0055 \cdot 32)/0{,}1 \cdot 100\% = 17{,}6\%.$$

В табл. 4 сведены результаты теоретически рассчитанного и экспериментально определенного содержания элементов в ПТК предполагаемого состава $Ti(OOK)_4$.

Таблица 4

Элементный состав ПТК

Элемент	Содержание элемента,%	
	теоретическое	экспериментальное
Ti	14,46	15,1 (14,48-14,44)*
O	19,27	17,60

Примечание. * Данные получены рентгенофлуоресцентным анализом.

Как видно из данных табл. 4, количество титана, определенное фотометрически, превышает на 4% теоретическое значение. Содержание активного кислорода незначительно ниже, что связано с частичным разложением пероксидных групп при сушке ПТК при $T = 80$-90°C. Практически полное соответствие состава предполагаемой структуре ПТК получено при определении содержания титана рентгенофлуоресцентным анализом (РФА) (отклонение от теоретического значения 0,1%). РФА – один из самых надежных и информативных, не разрушающих испытуемый образец спектральных методов определения содержания элементов с точностью до 0,01%. Метод основан на преобразовании измеренной интенсивности флуоресцентного излучения

определяемого элемента в его массовую долю в пробе, источником возбуждения флуоресценции является рентгеновская трубка.

Растворимость ПТК в воде составляет от 70 до 80% (в зависимости от условий получения вещества). Растворимая часть продукта образует прозрачный бесцветный раствор, нерастворимая часть 20-30% – кристаллическое вещество жёлтого цвета. ПТК растворим в 20%-ном растворе серной кислоты и 40%-ном растворе гидрооксида калия, не растворим в гексане, бензоле, этиловом спирте, диметилформамиде и других органических растворителях.

Таким образом, нами синтезирован пероксотитанат калия взаимодействием тетрахлорида титана с пероксидом водорода в присутствии гидроксида калия. Подобраны оптимальные условия синтеза, обеспечивающие высокую чистоту и выход целевого продукта. Для пероксотитаната калия определены элементный состав, основные физико-химические свойства, термическая стабильность и растворимость в различных средах. Полученное соединение перспективно для применения в качестве экологически безопасного и эффективного дезинфектанта [5].

Литература

1. *Белова В.И., Волков Ю.П.* Основные направления исследования в разработке дезинфицирующих средств // Научные основы дезинфекции и стерилизации: сб. науч. тр. М.: ВНИИ профилактической токсикологии и дезинфекции, 1991. С. 13-18.

2. *Дудко В.В., Тихонова Л.А.* Анализ лекарственных веществ по функциональным группам. Томск: Изд-во науч.-техн. лит. Сибирского гос. мед. ун-та, 2004. 139 с.

3. Основы аналитической химии: учебник для вузов: в 2 кн. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения. Кн. 2. Методы химического анализа / под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высш. шк., 2000. Кн. 1. 351 с.; Кн. 2. 494 с.

4. *Позин М.Е.* Перекись водорода и перекисные соединения. М.: Госхимиздат, 1951. 478 с.

5. Новые дезинфектанты на основе пероксидных соединений титана / *И.С. Соколова, Е.Г. Зиновьева, В.А. Ефимов и др.* // Химия и современность: сб. тез. Всерос. конф. с международным участием. Чебоксары: Изд-во Чуваш. пед. ун-та, 2011. С. 203-205.

6. *Ушакова Н.Н., Николаева Е.Р., Моросанова С.А.* Пособие по аналитической химии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 131.

7. *Ollis D.F., Al-Ekabi H.* Photocatalytic Purification of Water and Air. Amsterdam: Elsevier, 1993. 432 p.

8. *Xu M., Huang N., Xiao Z., Lu Z.*. Photoexcited TiO_2 nanoparticles through *OH-radicals induced malignant cells to necrosis // Supramol. Sci. 1998. Vol. 5. P. 449-451.

ЕФИМОВ ВЛАДИМИР АНГЕНОВИЧ – кандидат химических наук, доцент кафедры общей, неорганической и аналитической химии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (forpolymer@mail.ru).

EFIMOV VLADIMIR ANGENOVICH – candidate of chemical sciences, assistant professor of General, Inorganic and Analytical Chemistry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЗИНОВЬЕВА ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА – кандидат химических наук, доцент кафедры общей, неорганической и аналитической химии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (zinelegen@mail.ru).

ZINOVYEVA ELENA GENNADYEVNA – candidate of chemical sciences, assistant professor of General, Inorganic and Analytical Chemistry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЕФЕЙКИНА НАДЕЖДА БОРИСОВНА – кандидат биологических наук, заведующая кафедрой микробиологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (adaptagon@mail.ru).

EFEIKINA NADEZHDA BORISOVNA – candidate of biological sciences, head of microbiology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 547.462.3 + 547.391.3
ББК 24.7

О.А. КОЛЯМШИН, В.А. ДАНИЛОВ, Я.С. МАЛЬЦЕВА, Н.И. КОЛЬЦОВ

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С ОЛИГОУРЕТАНДИМЕТАКРИЛАТОМ И N-ФЕНИЛМАЛЕИНИМИДОМ

Ключевые слова: *стирол, метилметакрилат, уретановый олигомер Д10ТМ, N-фенилмалеинимид, сополимеризация, физико-механические свойства.*

Получены сополимеры стирола и метилметакрилата с олигоуретандиметакрилатом и N-фенилмалеинимидом, изучены их физико-механические свойства. Установлено, что введение N-фенилмалеинимида в сополимеры повышает их прочность на разрыв, а введение олигомера Д10ТМ повышает их эластичность, а также совместимость стирола и ММА с N-фенилмалеинимидом.

O.A. KOLYAMSHIN, V.A. DANILOV, Ya.S. MALTSEVA, N.I. KOLTSOV

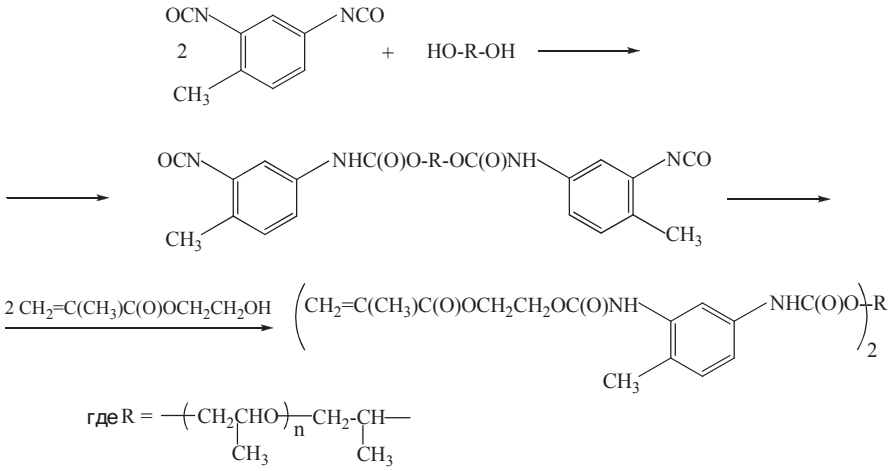
SYNTHESIS AND PROPERTIES OF COPOLYMERS OF STYRENE AND METHYL METHACRYLATE WITH OLIGOURETHANE DIMETHACRYLATE AND N-PHENYLMALEIMIDE

Key words: styrene, methyl methacrylate, urethane oligomer D10TM, N-phenylmaleimide, copolymerization, physico-mechanical properties.

The copolymers of styrene and methyl methacrylate with oligourethanedimethacrylate and N-phenylmaleimide was obtained and studied their physico-mechanical properties. Found that the introduction of N-phenylmaleimide in copolymers to increase their tensile strength and the introduction of oligomer D10TM increases their elasticity. The introduction of oligomer D10TM improving the compatibility of styrene and methyl methacrylate with N-phenylmaleimide.

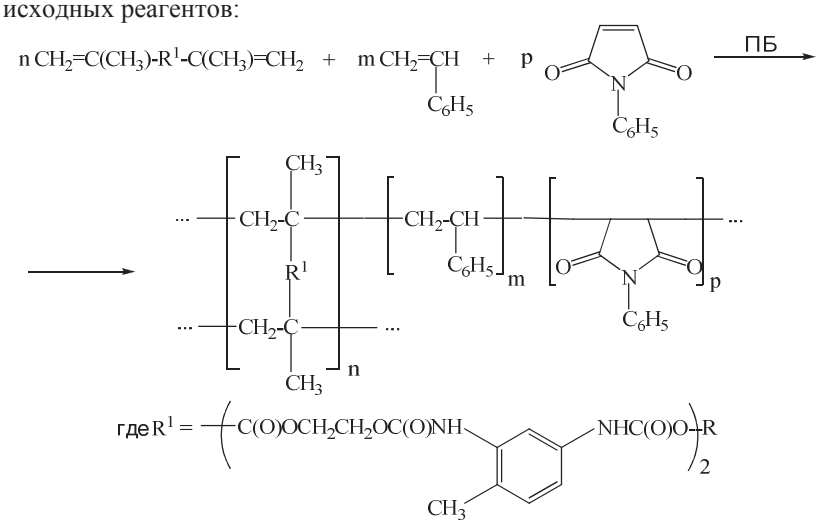
В промышленности находят широкое применение сополимеры стирола (СТ) и метилметакрилата (ММА) с различными непредельными соединениями. Варьируя соотношения исходных компонентов, получают полимерные материалы с требуемыми свойствами. Сополимеры на основе СТ и ММА обладают хорошими прочностными и диэлектрическими свойствами, их применяют при изготовлении изделий технического и бытового назначения, в электротехнике. Они нетоксичны, благодаря чему допущены к контакту с пищевыми продуктами и используются в медицинской технике [11]. К недостаткам полистирола и полиметилметакрилата относятся хрупкость, низкая ударная прочность, теплостойкость, химическая стойкость и стойкость к воздействию УФ-излучения, что значительно ограничивает их применение. Для устранения этих недостатков стирол сополимеризуют с бутадиеновым или бутадиен-стирольным каучуками, а также с акрилонитрилом с образованием сополимеров, обладающих более высокими эксплутационными свойствами, чем полистирол, а метилметакрилат сополимеризуют с небольшими количествами метил- и бутилакрилатов [8]. Известно [5], что полиуретановые эластомеры (ПУ) благодаря уникальному сочетанию высокой прочности и эластичности находят широкое применение в промышленности. ПУ отличаются высокой износостойкостью, стойкостью к гидролитическому и микробному воздействию, кислороду, озону и УФ-лучам. Термостойкие полимеры, превосходящие эпоксидные и эпоксифенольные композиции по физико-механическим свойствам, получают на основе малеинимидов (МИ) [6, 7, 9, 12]. В связи с этим представляют интерес синтез и исследование свойств сополимеров СТ и ММА с использованием добавок МИ и уретансодержащих олигомеров. В работах [2-4] была изучена сополимеризация СТ и ММА с различными малеинимидами. В данной работе получены сополимеры СТ и ММА с добавками олигоуретандиметакрилата, N-фенилмалеинимида (N-ФМИ) и изучены их физико-механические свойства.

Уретановый олигомер с концевыми метакрильными группами (Д10ТМ) синтезировали по методике, аналогичной [10]. Взаимодействием полиоксипропиленгликоля (лапрол 1052) с двойным избытком 2,4-толуилендиизоцианата получили соотвествующий олигоуретандиизоцианат, реакцией которого с двумя молями монометакрилового эфира этиленгликоля при 80°С получили олигоуретандиметакрилат (Д10ТМ). Процесс вели до полного расходования изоцианатных групп. В качестве катализатора использовали дибутилдилауринат олова:



Полученный олигомер Д10ТМ представляет собой густую вязкую жидкость светло-желтого цвета, константы которого совпадают с литературными данными [10].

Сополимеризацию СТ и ММА с олигомером Д10ТМ и N-фенилмалеинимидом проводили в массе в течение 1часа при 50-60°С и 4-6 часов при 80-90°С. В качестве инициатора использовали перекись бензоила (ПБ) в количестве 1 мас.% от общей массы исходных реагентов:



Синтезированные сополимеры представляют собой светло-желтые твердые образцы. При содержании олигомера Д10ТМ в реакционной смеси большем 20 мас.% сополимеры получались эластичными. В табл. 1 приведены составы сополимеров, а на рис. 1 их прочностные свойства – прочность на разрыв (σ_p).

Таблица 1

Составы сополимеров

№	Содержание, мас.%			
	СТ	ММА	Д10ТМ	N-ФМИ
1	-	-	100	0
2	-	-	90	10
3	-	-	80	20
4	-	-	70	30
5	-	-	60	40
6	-	60	40	0
7	-	60	35	5
8	-	60	30	10
9	-	60	25	15
10	-	60	20	20
11	60	-	40	0
12	60	-	35	5
13	60	-	30	10
14	60	-	25	15
15	60	-	20	20

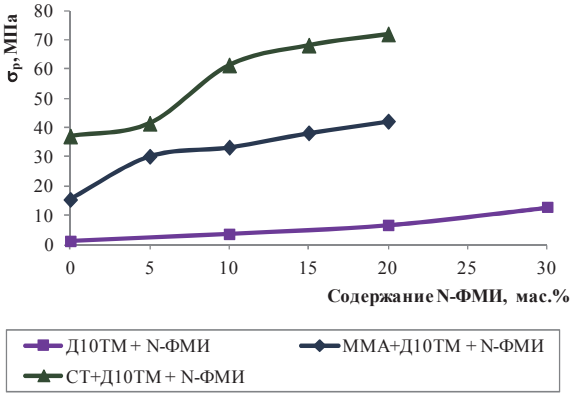


Рис. 1. Зависимости предела прочности при разрыве от содержания N-ФМИ в сополимерах

Из полученных данных следует, что максимальная растворимость N-ФМИ в олигомере Д10ТМ доходит до 40 мас.%, а в СТ и ММА при их 60%-ном содержании снижается до 20 мас.% при одновременном присутствии 20 мас.% олигомера Д10ТМ (табл. 1). В отсутствии олигомера растворимость N-ФМИ в стироле и ММА составляет не более 2-3 мас.%.

Из рис. 1 видно, что сополимеры СТ и олигомера Д10ТМ, модифицированные N-ФМИ, обладают более высокими прочностными свойствами, чем аналогичные сополимеры метилметакрилата. Исходя из этого, дальнейшие исследования проводили с сополимерами стирола. Содержание компонентов варьировали в различных соотношениях стирола от 60 до 95 мас.%, а содержание остальных компонентов (олигомера Д10ТМ и N-ФМИ) брали таким образом, чтобы суммарное количество всех компонентов составляло 100% (табл. 2). В результате были получены сополимеры различной жесткости от светло-желтого до светло-коричневого цвета, свойства которых зависят от их состава.

На рис. 2 представлены зависимости предела прочности при разрыве сополимеров стирола с олигомером Д10ТМ и N-ФМИ при различном их соотношении.

Из полученных данных следует, что увеличение содержания N-ФМИ в сополимерах до 5-20% (в зависимости от их состава) приводит к значительному повышению прочности при разрыве. Увеличение содержания олигомера Д10ТМ способствует повышению эластичности сополимеров, что проявляется в заметном увеличении их относительного удлинения ($\varepsilon_{отн}$). Максимальной прочностью характеризуется сополимер состава: стирол – 60, Д10ТМ – 20 и N-ФМИ – 20 мас.%. Это можно объяснить влиянием звеньев малеинимидного цикла, которые, встраиваясь в полимерную цепь, усиливают ее, что согласуется с данными [1]. Массовое соотношение (1:1) олигомера Д10ТМ к N-ФМИ при 60%-ном содержании стирола обеспечивает оптимальный состав системы. При увеличении содержания стирола ухудшается его совместимость с N-ФМИ, что требует соответствующего увеличения содержания в сополимере олигомера Д10ТМ по сравнению с содержанием N-ФМИ (табл. 2): при 65 мас.% стирола массовое соотношение Д10ТМ к N-ФМИ составляет 2,5:1; при 70 мас.% стирола – 2:1; при 75% стирола – 5:1; при 80% – 3:1; при 85% – 2:1; при 90% – 1:1. Уменьшение массового соотношения Д10ТМ к N-ФМИ до 1:1 при увеличении содержания стирола до 90% можно объяснить тем, что при этом увеличивается совместимость N-ФМИ со стиролом, которая становится приблизительно равной растворимости N-ФМИ в СТ, не содержащем добавок олигомера Д10ТМ. Из табл. 2 также следует, что с увеличением содержания олигомера Д10ТМ в сополимерах выход гель-фракции возрастает, что свидетельствует о высокой степени сшивки полимерных цепей. При содержании олигомера Д10ТМ в сополимерах менее 5 мас.% выход гель-фракции значительно падает.

Таблица 2

Составы, физико-механические свойства и выход гель-фракции сополимеров стирола с олигомером Д10ТМ, модифицированных N-фенилмалеинимидом

№	Содержание, мас.%			$\sigma_р$, МПа	Относительное удлинение $\varepsilon_{р,\%}$	Выход гель-фракции, %
	стирол	Д10ТМ	N-ФМИ			
1	65	35	0	36	42	99
2	65	30	5	48	31	97
3	65	25	10	55	26	96
4	65	20	15	53	20	95
5	65	15	20	46	17	93
6	70	30	0	35	28	99
7	70	25	5	42	25	97
8	70	20	10	49	20	95
9	70	15	15	38	13	92
10	70	10	20	21	9,3	85,4
11	75	25	0	32	28	98
12	75	25	5	38	22	96
13	75	15	10	32	18	93
14	75	10	15	15	9	87
15	75	5	20	2,4	4	76
16	80	20	0	26	29	97
17	80	15	5	30	14	94
18	80	10	10	22	13	89
19	80	5	15	7	8	76
20	80	0	20	-	-	39
21	85	15	0	22	19	96
22	85	10	5	24	16	92
23	85	5	10	13	10	78
24	85	0	15	-	-	37
25	90	10	0	15	25	90
26	90	5	5	17	7	78
27	90	0	10	-	-	41
28	95	5	0	7	9	74
29	95	2,5	2,5	-	-	63
30	95	0	5	-	-	32

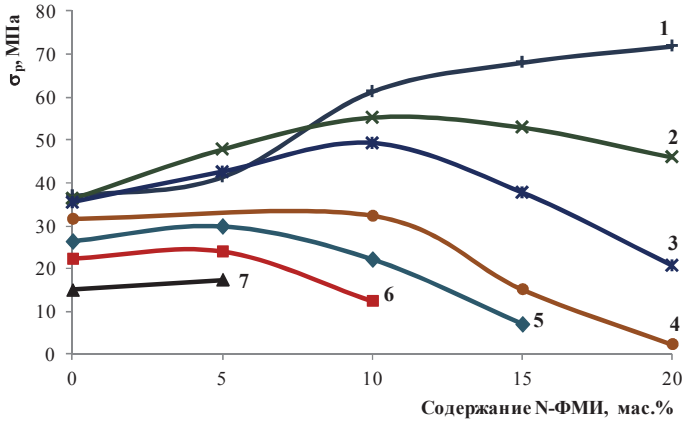


Рис. 2. Зависимости предела прочности при разрыве от содержания N-фенилмалеинимида в сополимерах СТ + Д10ТМ + N-ФМИ при содержании стирола:
1 – 60; 2 – 65; 3 – 70; 4 – 75; 5 – 80; 6 – 85; 7 – 90 мас.%

Таким образом, нами получены новые сополимеры стирола и метилметакрилата с олигоуретандиметакрилатом Д10ТМ и N-фенилмалеинимидом, изучены их физико-механические свойства. Показано, что увеличение содержания N-фенилмалеинимида повышает прочностные свойства сополимеров, а олигомера Д10ТМ – их эластичность, а также совместимость стирола и ММА с N-фенилмалеинимидом.

Литература

1. *Архипова И.А., Жубанов Б.А., Рафиков С.Р.* Новые гетероцепные полимеры на основе циклических имидов карбоновых кислот // Успехи химии. 1978. Т. 47, вып. 4. С. 705-738.

2. *Васильева С.Ю., Колямшин О.А., Кольцов Н.И.* Синтез и свойства сополимеров стирола и N-бутоксифенилмалеимидов // Вестник Чувашского университета. 2001. № 4. С. 45-47.

3. *Данилов В.А., Кольцов Н.И., Колямшин О.А.* Влияние N-(*n*-алкилоксикарбонил)фенилмалеимидов на образование и свойства полиметилметакрилата // Бутлеровские сообщения. 2010. Т. 21, № 7. С. 58-63.

4. *Данилов В.А., Федорова В.В., Колямшин О.А, Кольцов Н.И.* Сополимеризация N-(*n*-алкилоксикарбонил)фенилмалеимидов с метилметакрилатом и свойства полученных полимеров // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 48-52.

5. *Макаров В.Г.* Коптенармусов В.Г. Промышленные термопласты: справочник. М.: Химия; КолосС, 2003. С. 135-140.

6. *Михайлин Ю.А.* Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. С. 528-623.

7. *Михайлин Ю. А., Мийченко* И.П. Малеинимидные связующие (обзор) // Пластические массы. 1992. № 5. С. 56-64.

8. Основы технологии переработки пластмасс: учебник / *С.В. Власов, Э.Л. Калинчев, Л.Б. Кандырин и др.* М.: Химия, 1995. С. 16-21.

9. *Светличный В.М. Кудрявцев В.В.* Полиимиды и проблема создания современных конструкционных композиционных материалов // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 2003. Т. 45, № 6. С. 984-1036.

10. *Спирин Ю.Л., Маслюк А.Ф., Магдинец В.В.* Кинетика полимеризации олигоуретанакрилатов // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. Т. 14, № 2. С. 317-323.

11. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие / *В.К. Кржижановский, В.В. Бурлов, Ю.В. Кржижановская и др.* 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Профессия, 2007. С. 35-39.

12. *Pierre M., Bernard S.* Thermosetting Oligomers Maleimides and Nadimides End-Groups // Adwances in Polymer Science. 1999. Vol. 140. P. 137-179.

КОЛЯМШИН ОЛЕГ АКТАРЬЕВИЧ – кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oleg.kolyamshin@yandex.ru).

KOLYAMSHIN OLEG ACTARYEVICH – candidate of chemical sciences, senior teacher of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ДАНИЛОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ – старший преподаватель кафедры физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dva1976@yandex.ru).

DANILOV VLADIMIR ALEKSANDROVICH – senior teacher of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МАЛЬЦЕВА ЯНА СЕРГЕЕВНА – магистрант химико-фармацевтического факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (yana_malceva_91@mail.ru).

MALTSEVA YANA SERSEEVNA – master's program student of Chemical and Pharmaceutical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КОЛЬЦОВ НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (koltsovni@mail.ru).

KOLTSOV NIKOLAY IVNOVICH – doctor of chemistry, professor, head of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 911.3:33](470.344)+332.13:631
ББК У32-45(2Рос.Чув)

Ю.Р. АРХИПОВ, О.Г. СВАТОВА

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ключевые слова: *территориальный анализ, структурные изменения, сельскохозяйственное производство, Чувашская Республика.*

Приведены результаты территориального анализа изменения структуры посевных площадей основных сельскохозяйственных культур, структуры сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств и отраслевой структуры производства сельскохозяйственной продукции Чувашской Республики с 2000 по 2011 г. Дан прогноз рассмотренных структур на 2017 г.

Yu.R. ARKHIPOV, O.G. SVATOVA

TERRITORIAL ANALYSIS OF STRUCTURAL CHANGES IN AGRICULTURAL PRODUCTION OF THE CHUVASH REPUBLIC

Key words: *territorial analysis, structural change, agricultural production, Chuvash Republic.*

The results of the territorial analysis of change in the structure of the basic crops' cultivated area, change in the structure of agricultural production by farm categories and by sectorial structure of agricultural products production in Chuvash Republic are adduced. The forecast of the considered structures for 2017 is given.

В 90-х гг. прошлого века начался процесс преобразований в сельском хозяйстве нашей страны, базирующийся, в основном, на смене форм собственности. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Поэтому остается актуальной задача анализа и прогнозирования этого процесса.

Целью данной работы являются территориальный анализ и прогноз структурных изменений в сельскохозяйственном производстве Чувашии. Рассмотрен период с начала нашего века и дан прогноз до 2017 г.

Территориальный анализ структурных сдвигов в сельскохозяйственном производстве Чувашской Республики заключался в оценке изменений структуры сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств, структуры посевных площадей и отраслевой структуры производства сельскохозяйственной продукции в разрезе муниципальных районов. Рассмотренные виды структур определяют общие структурные изменения в сельскохозяйственном производстве Чувашской Республики. Изменение структуры посевных площадей, связанное с изменением форм хозяйствования, приводит к изменению структуры производства сельскохозяйственной продукции.

Для анализа структурных изменений был использован коэффициент структурных сдвигов

$$K = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\left|d_{j1} - d_{j0}\right|,$$

где d_{j1} – j-я структурная компонента (в %) в конечный момент рассматриваемого периода времени; d_{j0} – j-я структурная компонента в начальный момент. Прогноз структуры был произведен методом, описанным в [1. С. 58-60]. При выполнении работы были использованы статистические материалы Чувашстата [2].

Структура сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств в целом по республике начиная с 2000 г. изменилась в сторону уменьшения доли продукции сельскохозяйственных организаций в общем объеме производства в стоимостном выра-

жении и увеличения доли продукции крестьянских (фермерских) хозяйств. Доля продукции хозяйств населения в общереспубликанском сельскохозяйственном производстве вначале (2000–2005 гг.) росла, а затем стала снижаться. Структурные сдвиги в начальный период были меньше, чем в последующий. Предполагается, что в ближайшем будущем структура сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств сохранит современную тенденцию изменения: доля продукции сельскохозяйственных организаций и хозяйств населения в общем объеме сельскохозяйственного производства республики будет уменьшаться, а доля продукции крестьянских хозяйств расти (табл. 1).

Таблица 1

Динамика структуры сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств Чувашской Республики, %

Категории хозяйств	Годы			
	2000	2005	2011	2017 (прогноз)
Сельхозорганизации	38,4	34,9	30	25,8
Хозяйства населения	60,9	63,4	61,4	59,4
Крестьянские хозяйства	0,7	1,7	8,6	14,8
Коэффициент структурных сдвигов	–	3,4	6,9	6,2

В районах республики в период с 2000 по 2005 г. преобладала общая тенденция изменения структуры объема сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств. Так, в 20 муниципальных районах из 21 доля продукции сельскохозяйственных организаций в общем объеме производства уменьшилась и только в Чебоксарском районе она увеличилась. Доля продукции хозяйств населения в общем объеме производства увеличилась в 19 районах, а доля продукции крестьянских хозяйств – в 18 районах. Структурные сдвиги определялись, в основном, изменениями долей продукции организаций и хозяйств населения в объеме сельскохозяйственного производства. Только в трех районах (Аликовском, Урмарском и Шемуршинском) произошло существенное увеличение доли продукции крестьянских хозяйств в объеме сельскохозяйственного производства (соответственно на 4,1, 4,6 и 6,7%).

В следующем периоде (2005–2011) возросла роль крестьянских хозяйств в сельскохозяйственном производстве республики. Доля продукции крестьянских хозяйств в объеме сельскохозяйственной продукции увеличилась в 20 районах из 21. Только в Красночетайском районе она незначительно снизилась. Наибольший рост доли продукции крестьянских хозяйств был в Аликовском, Урмарском и Козловском районах. Процесс изменения долей продукции сельскохозяйственных организаций и хозяйств населения происходил разнонаправленно. В 16 районах республики доля продукции сельскохозяйственных организаций в общем объеме производства уменьшилась, а в 5 – увеличилась. Доля продукции хозяйств населения в общем объеме сельскохозяйственного производства уменьшилась в 13 муниципальных районах и увеличилась в 8 районах.

Прогноз структуры сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств на 2017 г. показывает, что наибольшие структурные изменения возможны в Аликовском, Козловском, Марпосадском, Цивильском и Янтиковском районах (табл. 2). Структурные изменения в этих районах, за исключением Цивильского района, могут произойти за счет снижения доли продукции хозяйств населения и роста доли продукции крестьянских хозяйств в общем объеме сельскохозяйственного производства. В Цивильском районе изменение структуры сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств может произойти вследствие роста доли продукции сельскохозяйственных предприятий и снижения доли продукции хозяйств населения в общем объеме производства.

Существенные структурные изменения, в основном, из-за роста доли продукции хозяйств населения и снижения доли продукции сельскохозяйственных организаций могут произойти в Алатырском, Ибресинском, Шемуршинском районах, по преимущественной причине роста доли продукции крестьянских (фермерских) хозяйств и уменьшения доли продукции сельскохозяйственных организаций – в Батыревском, Канашском, Моргаушском, Порецком, Урмарском и Яльчикском районах. Также существенные структурные изменения могут произойти в Вурнарском районе из-за

увеличения доли продукции сельскохозяйственных организаций и уменьшения доли продукции крестьянских хозяйств, в Комсомольском районе – вследствие уменьшения доли продукции хозяйств населения и увеличения доли крестьянских хозяйств, в Красноармейском районе, где возможны уменьшение доли продукции хозяйств населения и увеличение доли продукции сельскохозяйственных организаций и крестьянских хозяйств. В целом значительный рост фермерских хозяйств может произойти в 11 муниципальных районах из 21.

Таблица 2

Прогноз структуры сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств в муниципальных районах Чувашской Республики, 2017 г., %

Районы	Сельхоз-организации	Хозяйства населения	Крестьянские хозяйства	Коэффициент структурных сдвигов, 2011–2017 гг.
Чувашская Республика	**25,8**	**59,4**	**14,8**	**6,2**
Алатырский	7,7	91,0	1,3	6,3
Аликовский	16,1	40,5	43,4	16,7
Батыревский	12,9	70,6	16,5	6,4
Вурнарский	40,9	54,2	4,9	6,6
Ибресинский	15,2	83,2	1,7	6,0
Канашский	19,0	71,0	10,0	3,8
Козловский	8,7	56,7	34,6	12,8
Комсомольский	35,1	45,6	19,2	7,6
Красноармейский	43,1	43,7	13,2	9,2
Красночетайский	29,8	70,1	0,1	3,0
Марпосадский	17,8	64,3	18,0	11,2
Моргаушский	23,0	62,5	14,5	7,7
Порецкий	17,6	70,9	11,5	5,0
Урмарский	4,3	61,1	34,5	9,7
Цивильский	62,7	30,0	7,2	14,8
Чебоксарский	59,2	38,1	2,7	2,2
Шемуршинский	3,7	83,7	12,5	5,7
Шумерлинский	15,3	78,3	6,4	3,0
Ядринский	29,0	70,2	0,8	1,3
Яльчикский	27,0	52,4	20,6	8,8
Янтиковский	19,0	54,4	26,5	11,9

К районам, где структурные изменения прогнозируются незначительными, можно отнести Красночетайский, Чебоксарский, Шумерлинский и Ядринский районы.

Структура посевных площадей в целом по Чувашской Республике изменилась следующим образом. В период с 2000 по 2005 г. уменьшилась доля посевных площадей под зерновые культуры и овощи и увеличилась доля посевных площадей, отводимых под сахарную свеклу и картофель. Эти изменения носили незначительный характер (коэффициент структурных сдвигов $K = 1{,}9\%$). В следующий период (2005–2011) произошли более значительные изменения ($K = 3{,}2\%$): увеличилась доля посевных площадей зерновых культур и уменьшились доли посевных площадей остальных культур. Прогнозируется сохранение этой тенденции, но структурные изменения будут меньше ($K = 1{,}9\%$) (табл. 3).

Анализ динамики структуры посевных площадей районов республики в период с 2000 по 2005 г. показал, что основные изменения произошли в посевных площадях зерновых и зернобобовых культур, картофеля и сахарной свеклы. В меньшей степени изменения затронули посевные площади овощей. При этом изменения посевных площадей зерновых и овощей имели в основном отрицательный характер (в 14 районах из 21), а

Таблица 3

Динамика структуры посевных площадей основных сельскохозяйственных культур по всем категориям хозяйств Чувашской Республики, %

Сельскохозяйственные культуры	Годы			
	2000	2005	2011	2017 (прогноз)
Зерновые и зернобобовые	79,8	78,4	81,6	83,4
Сахарная свекла	0,6	2,1	0,5	0,1
Картофель	16,8	17,1	15,8	14,7
Овощи	2,9	2,4	2,1	1,7
Коэффициент структурных сдвигов	-	1,9	3,2	1,9

изменения структурных компонент посевных площадей картофеля и сахарной свеклы – положительный (в 13 районах из 21).

В период с 2005 по 2011 г. основная тенденция изменения структуры посевных площадей в муниципальных районах Чувашской Республики проявилась в виде уменьшения доли посевных площадей сахарной свеклы во всех районах, картофеля – в 15 районах из 21, овощей – в 12 районах. Наряду с этим увеличилась доля посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в 18 районах. В целом данный период характеризуется значительными структурными сдвигами в посевных площадях районов республики, которые произошли в основном из-за изменения структурных компонент посевных площадей зерновых и картофеля. В большинстве районов посевные площади зерновых культур увеличились, а картофеля – уменьшились.

Прогноз структуры посевных площадей в муниципальных районах Чувашской Республики был основан на тенденции ее изменения в период с 2005 по 2011 г. Результаты прогноза приведены в табл. 4.

Таблица 4

Прогноз структуры посевных площадей основных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Чувашской Республики, 2017 г., %

Районы	Зерновые и зернобобовые	Сахарная свекла	Картофель	Овощи	Коэффициент структурных сдвигов, 2011–2017 гг.
Чувашская Республика	**83,4**	**0,1**	**14,7**	**1,7**	**1,9**
Алатырский	95,3	0	4,2	0,4	3,8
Аликовский	72,1	0	25,9	2,0	6,5
Батыревский	72,8	1,6	21,9	3,6	2,3
Вурнарский	80,5	0	18,9	0,7	0,5
Ибресинский	87,1	0	10,7	2,3	3,6
Канашский	83,5	0,3	15,3	0,9	3,9
Козловский	78,5	0	20,0	1,5	0,6
Комсомольский	79,6	0,3	17,9	2,2	3,8
Красноармейский	93,1	0	6,4	0,5	3,9
Красночетайский	88,9	0	10,5	0,7	3,2
Марпосадский	82,5	0	15,9	1,6	3,5
Моргаушский	81,9	0	15,0	3,1	0,7
Порецкий	97,1	0	2,1	0,8	2,6
Урмарский	79,3	0	19,9	0,7	0,5
Цивильский	91,7	0	7,0	1,2	3,2
Чебоксарский	75,0	0	22,9	2,1	2,8
Шемуршинский	84,7	0,7	13,0	1,6	3,7
Шумерлинский	74,4	0	22,1	3,5	0,4
Ядринский	84,4	0	13,8	1,7	0,3
Яльчикский	84,2	0,1	13,1	2,6	1,8
Янтиковский	84,7	0	12,8	2,5	0,5

В целом по республике существенных изменений в структуре посевных площадей не прогнозируется (K = 1,9%). Однако возможны более значительные изменения в муниципальных районах республики.

Прогнозные значения свидетельствуют, что наибольшие изменения структуры посевных площадей могут произойти в Аликовском районе (K = 6,5%). В этом районе может уменьшиться доля посевных площадей зерновых культур приблизительно на 6,4 процентных пункта и увеличиться доля посевных площадей картофеля приблизительно на 6,2 процентных пункта.

Определенные сдвиги в структуре посевных площадей возможны в Алатырском, Батыревском, Ибресинском, Канашском, Комсомольском, Красноармейском, Красночетайском, Марпосадском, Порецком, Цивильском, Чебоксарском и Шемуршинском районах (значения коэффициента структурных сдвигов находятся в диапазоне от 2,3 до 3,9%). Эти сдвиги могут быть обусловлены изменением посевных площадей зерновых культур и картофеля. В остальных муниципальных районах республики существенных сдвигов в структуре посевных площадей не предвидится.

Структура сельскохозяйственного производства по основным видам продукции во всех категориях хозяйств Чувашской Республики в период с 2000 по 2011 г. характеризуется снижением доли зерновых и зернобобовых, картофеля, незначительным снижением доли молока и увеличением доли овощей в общем объеме сельскохозяйственной продукции Чувашской Республики. Доля производства мяса и яиц в общем сельскохозяйственном объеме производства в период с 2000 по 2005 г. выросла, а в следующий период (2005–2011) – снизилась, причем доля производства мяса снизилась существенно. Структурные сдвиги с 2000 г. были достаточно большими. Прогнозируется уменьшение структурных изменений (табл. 5).

Анализ динамики структуры сельскохозяйственного производства по видам продукции в разрезе муниципальных районов Чувашии в период с 2000 по 2005 г. показал, что структурные изменения имеют сходные черты. Так, во всех районах произошли уменьшение доли зерновых и зернобобовых и увеличение доли производства яиц в общем объеме производства. Доля картофеля и молока в общем объеме производства уменьшилась, соответственно, в 14 и 13 районах из 21, а доля производства овощей и мяса увеличились в 18 и 17 районах. Однако общие закономерности динамики структуры сельскохозяйственной продукции проявляются по-разному в муниципальных районах.

Таблица 5

Динамика структуры сельскохозяйственного производства Чувашской Республики по видам продукции во всех категориях хозяйств, %

Виды продукции	Годы			
	2000	2005	2011	2017 (прогноз)
Зерновые	17,4	9,6	8	6,7
Картофель	22,4	17,9	18,2	18,3
Овощи	10,8	14,5	27,6	36,6
Мясо	25,5	31,6	20,9	13,9
Молоко	23,3	22	22,1	22,1
Яйца	0,5	4,4	3,3	2,4
Коэффициент структурных сдвигов	-	13,7	13,4	9,2

Наибольшие структурные изменения в рассматриваемый период произошли в Аликовском, Вурнарском, Канашском, Марпосадском, Чебоксарском и Шемуршинском районах. В этих районах существенно снизилась доля производства зерновых, увеличилась доля производства мяса, за исключением Канашского и Марпосадского районов, где увеличилась доля производства овощей, и Чебоксарского и Шемуршинского районов, где наряду с увеличением доли производства мяса произошло снижение доли производства картофеля.

Особенностью следующего периода (2005–2011) были увеличение доли производства овощей во всех районах и уменьшение доли производства мяса, за исключением Цивильского района. Наибольшие структурные сдвиги, обусловленные общереспубликанскими закономерностями, произошли в Аликовском, Вурнарском, Ибресинском, Козловском, Марпосадском, Моргаушском, Порецком, Шемуршинском, Шумерлинском и Ядринском районах. В остальных районах меньшие структурные изменения произошли в основном под влиянием тех же самых факторов.

Прогноз структуры сельскохозяйственного производства по основным видам продукции базируется на тенденции ее изменения в 2005–2011 гг. (табл. 6). Полученные результаты говорят о том, что может быть, если тенденция сохранится.

Таблица 6

Прогноз структуры сельскохозяйственного производства по видам продукции в муниципальных районах Чувашской Республики, 2017 г., %

Районы	Зерновые	Картофель	Овощи	Мясо	Молоко	Яйца	Коэффициент структурных сдвигов, 2011–2017 гг.
Чувашская Республика	**6,7**	**18,3**	**36,6**	**13,9**	**22,1**	**2,4**	**9,2**
Алатырский	13,9	8,8	28,1	16,8	30,6	1,8	7,6
Аликовский	3,5	23,8	30,8	7,3	34,1	0,4	11,2
Батыревский	4,3	22,0	49,0	9,4	14,8	0,5	11,8
Вурнарский	9,1	29,7	20,0	11,5	29,3	0,3	10,7
Ибресинский	4,9	12,7	44,2	12,2	25,5	0,5	13,4
Канашский	7,8	10,6	25,7	22,0	29,7	4,3	7,7
Козловский	6,1	35,7	48,5	4,5	4,9	0,3	14,1
Комсомольский	8,7	23,4	35,9	6,7	24,9	0,5	10,9
Красноармейский	13,8	20,7	20,2	13,5	31,3	0,4	7,2
Красночетайский	7,6	6,3	17,5	18,7	48,6	1,2	8,5
Марпосадский	10,1	22,5	46,3	3,9	16,8	0,4	10,9
Моргаушский	5,1	9,9	42,2	8,0	23,0	11,8	13,7
Порецкий	19,7	6,7	44,8	9,5	18,0	1,3	11,2
Урмарский	10,6	37,3	23,1	10,9	17,3	0,9	8,8
Цивильский	5,2	11,7	35,1	40,4	7,0	0,6	9,6
Чебоксарский	2,5	9,0	32,1	30,9	16,1	9,4	8,7
Шемуршинский	5,7	36,5	22,9	12,0	22,2	0,8	11,4
Шумерлинский	2,8	6,8	41,7	15,5	32,7	0,6	15,1
Ядринский	3,8	9,2	32,7	12,8	40,8	0,6	12,7
Яльчикский	8,4	20,1	37,7	9,5	23,7	0,7	9,6
Янтиковский	8,3	7,2	39,7	12,7	30,5	1,5	12,4

По прогнозу наибольшие структурные изменения могут произойти в Ибресинском, Козловском, Моргаушском и Шумерлинском районах. В целом по республике, как отмечалось выше, структурные изменения могут уменьшиться.

Проведенное исследование показало следующее.

1. Определенные изменения в структуре сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств произошли в последние годы, когда наблюдался рост доли продукции крестьянских хозяйств в общем объеме производства.

2. Структура посевных площадей изменилась в меньшей степени, чем структура сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств, что свидетельствует о ее инерционности. Основные ее изменения произошли в последние годы за счет незначительного повышения доли посевных площадей зерновых и уменьшения доли посевных площадей сахарной свеклы.

3. Незначительные изменения структуры сельскохозяйственного производства по категориям хозяйств и структуры посевных площадей привели к значительным изменениям структуры сельскохозяйственного производства по видам продукции. Во многом это можно объяснить изменением соотношений цен на разные виды сельскохозяйственной продукции. Так, например, в 2005 г. цены за 1 т овощей превышали цены за 1 т зерновых и зернобобовых культур приблизительно в 5 раз, а в 2011 г. – почти в 11 раз. Отсюда даже при увеличении доли посевных площадей под зерновые доля продукции зер-

новых в общем объеме производства в стоимостном выражении снизилась. Таким образом, фактор изменения соотношений цен оказывает существенное влияние на изменение структуры сельскохозяйственного производства по видам продукции.

4. Проведенный анализ свидетельствует, что структурные изменения в сельскохозяйственном производстве имеют тенденцию к замедлению. Большую роль в процессе структурных изменений играет ценовой фактор. Будущие структурные сдвиги в сельском хозяйстве Чувашии во многом будут зависеть от уровня и соотношений цен на рынке сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. Статистика: учеб. пособие / *Л.П. Харченко, В.Г Долженкова, В.Г. Игонин и др.*; под ред. В.Г. Игонина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 384 с.

2. Чувашстат: офиц. сайт. URL: http://chuvash.gks.ru.

АРХИПОВ ЮРИЙ РОМАНОВИЧ – доктор географических наук, профессор кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (yurarkhipov@mail.ru).

ARKHIPOV YURIY ROMANOVICH – doctor of geographical sciences, professor of Economic and Social Geography Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СВАТОВА ОЛЕСЯ ГЕННАДЬЕВНА – магистрант кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (olesja.svatva@rambler.ru).

SVATOVA OLESYA GENNADYEVNA – master's program student of Economic and Social Geography Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 631.4
ББК 26.Д

П.В. ВАСЮКОВ, С.В. ВАСЮКОВ, И.М. ГАСАНОВ, В.В. СИРОТКИН

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАК ОСНОВА КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ключевые слова: *гидрофизические параметры, бонитировка, антропогенная нагрузка, урожайность, почвы, корреляционная связь.*

Предложено использовать гидрофизические показатели основных зональных почв Европейской России для качественной оценки почвенного покрова земель сельскохозяйственного назначения. Проведена бонитировка почв с использованием гидрофизических параметров на примере муниципальных районов Чувашской Республики.

P.V. VASYUKOV, S.V. VASYKOV, I.M. GASANOV, V.V. SIROTKIN

HYDROPHYSICAL PARAMETERS AS A BASIS FOR QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE MAJOR ZONAL SOILS OF CHUVASH REPUBLIC

Key words: *hydro physical parameters, valuation of, anthropogenic load, yield, soil, correlation.*

Offered to use hydrophysical indicators of the basic zonal soils of European Russia for the qualitative assessment of soil agricultural land. Conducted soil appraisal using of hydrophysical parameters on the example of municipal districts of the Chuvashia.

В основу бонитировки почв по гидрофизическим параметрам нами был положен естественноисторический метод бонитировки почв (по 100-балльной системе). Он был разработан В.В. Докучаевым и Н.М. Сибирцевым. Подробно рассмотрен в работе Ф.Я. Гаврилюка (1984) [5]. Нами наряду с этими подходами использовались методические разработки Н.Ф. Тюменцева (1975, 1982) [9]. Бонитировка почв производи-

лась по четвертому разряду (классификация Н.Ф. Тюменцева) с привлечением среднемасштабной почвенной карты Чувашской Республики (1: 300 000) по отчетным данным по площадям почв Чувашской Республики с их уточнением по крупномасштабным почвенным картам административных районов республики (1: 50000) и отчетным данным по площадям почв под угодьями по административным районам анализируемого субъекта РФ (отчет Чувашского филиала Волговятгипрозема «Почвы Чувашской Республики», г. Чебоксары. 1988).

Использование гидрофизических показателей при бонитировке ранее не проводилось, поэтому на первом этапе нами составлена таблица гидрофизических свойств автоморфных почв Чувашской Республики. В ней помимо свойств этих почв приводятся данные по содержанию гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте (пахотном). При составлении таблицы использовалась классификация почв Чувашской Республики профессора С.И. Андреева (1971) [1]. Нами, кроме того, привлечены данные, полученные непосредственно в ходе полевых исследований, которые затем сравнивались с информацией из работ А.М. Глобуса (1983, 1987) [6]; А.Д. Воронина (1984, 1985) [4]; отчет Чувашского филиала Волговятгипрозема «Почвы Чувашской Республики» (1988) (см. табл. 1).

Таблица 1

Гидрофизические свойства автоморфных почв Чувашской Республики

Почва	Объёмная масса, г/см^3	Плотность твердой фазы, г/см^3	Пористость	Удельная поверхность, м^2/м^3	Коэффициент фильтрации, м/с	Содержание гумуса в горизонте 0-20 см, %
Подзолистые и дерново-сильноподзолистые	1,6	2,64-2,61	0,51	51,0	$0{,}44\times10^{-5}$	1,48
Дерново-среднеподзолистые почвы	1,5	2,54-2,55	0,52	79,5	$0{,}011\times10^{-5}$	1,65
Дерново-слабоподзолистые почвы	1,32	2,54-2,55	0,56	98,1	$1{,}65\times10^{-5}$	1,93
Светло-серые лесные	1,09-1,24	2,61-2,59	0,58-0,52	119,2-138,1	$2{,}28\times10^{-5}$	3,08
Типично-серые лесные	1,08-1,18	2,59-2,57	0,58-0,54	138,1-162,4	$5{,}98\text{-}9{,}08\times10^{-5}$	3,62
Темно-серые лесные	1,04-1,12	2,54-2,48	0,59-0,55	162,4-183,6	$2{,}0\text{-}4{,}82\times10^{-5}$	5,54
Черноземы оподзоленные	1,08-1,23	2,20-2,27	0,55	199,1-238,5	$1{,}45\times10^{-5}$	7,01
Черноземы выщелоченные	0,99-1,21	2,20-2,40	0,58	238,5-257,8	$0{,}3\text{-}0{,}5\times10^{-5}$	8,2
Черноземы типичные	1,11	2,62	0,63	279,6	$0{,}13\times10^{-5}$	8,6

На следующем этапе нами проведена многофакторная корреляция между гидрофизическими показателями основных автоморфных почв Чувашской Республики и содержанием гумуса в их перегнойном горизонте. Данная операция необходима для того, чтобы выявить, как первые из них коррелируют со вторыми. Существует достаточно большое число методик бонитировки почв, где в качестве основного ее генетического свойства берется содержание гумуса, и в то же время отсутствуют методики бонитировки почв по гидрофизическим показателям, исключая оценку по механическому составу и объемному весу почвы [9]. Корреляция необходима для того, что-

бы еще раз подтвердить правильность выбора гидрофизических критериев бонитировки, которые обоснованы нами ниже (см. табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции содержания гумуса и гидрофизических характеристик в почве

Показатели	Объёмная масса, г/см^3	Плотность твердой фазы, г/см^3	Пористость	Удельная поверхность, м^2/м^3	Коэффициент фильтрации, м/с	Содержание гумуса в горизонте 0-20 см, %
Объемная масса, г/см^3	1					
Плотность твердой фазы, г/см^3	0,37	1				
Пористость	–0,76	–0,06	1			
Удельная поверхность, м^2/м^3	–0,81	–0,49	0,86	1		
Коэффициент фильтрации, м/с	–0,40	0,15	0,02	–0,06	1	
Содержание гумуса в горизонте 0-20 см, %	–0,75	–0,55	0,79	0,98	–0,14	1

Примечание. Связь содержания гумуса со всеми гидрофизическими показателями, связь гидрофизических показателей между собой статистически значима с вероятностью 0,95 ($\alpha = 0,05$).

Бонитировочные баллы вычисляются по формуле

$$Б = З_ф/З_м \cdot 100, \quad (1)$$

где Б – балл почвы; $З_ф$ – фактическое значение какого-либо признака (пористости почв, удельной поверхности почв); $З_м$ – максимальное или оптимальное при сложных зависимостях значение данного признака, соответствующее его содержанию в почве, принимаемой за 100 баллов.

Для вычисления бонитировочного балла по объемной массе используется формула

$$Б = \begin{cases} (З_м/З_ф)\cdot 100, \text{ если } З_ф > З_м, \\ З_ф/З_м \cdot 100, \text{ если } З_ф < З_м. \end{cases} \quad (2),$$

Общий балл получен как среднеарифметическое между баллами по свойствам почв. Шкала бонитировки автоморфных почв Чувашской Республики представлена в табл. 3.

Таблица 3

Шкала бонитировки автоморфных почв Чувашской Республики

Почва	Объемная масса, г/см^3	Балл	Пористость	Балл	Удельная поверхность м^2/м^3	Балл	Общий балл почвы
Подзолистые и дерново-сильноподзолистые	1,6	68	0,51	81	51,0	18	**56**
Дерново-среднеподзолистые почвы	1,5	72	0,52	83	79,5	28	**61**
Дерново-слабоподзолистые почвы	1,32	82	0,56	89	98,1	35	**69**
Светло-серые лесные	1,17	92	0,55	87	128,7	46	**75**
Типично-серые лесные	1,13	96	0,56	89	150,3	54	**80**
Черноземы оподзоленные	1,16	93	0,55	87	218,8	78	**86**
Черноземы выщелоченные	1,1	98	0,58	92	248,2	89	**93**
Черноземы типичные	1,11	97	0,63	100	279,6	100	**99**

На следующем этапе работ нами проведена бонитировка автоморфных почв по административным районам Чувашской Республики. Общий бонитировочный балл представляет собой произведение площади конкретной почвы на этот балл.

Средний бонитировочный балл (Бс) по всем почвам района определяется как частное от деления суммы этих баллов на площадь бонитируемых почв, средний бонитировочный балл пахотных почв (Бсп) определяется как частное от деления суммы этих баллов пахотных почв на общую площадь пахотных почв по всему административному району.

После определения средних бонитировочных баллов всех почв каждого района и средних бонитировочных баллов пахотных почв районов необходимо проверить правильность бонитировки по выбранным показателям. В большинстве методик в качестве контрольного показателя берется средняя многолетняя урожайность сельскохозяйственных культур, выращиваемых на данной почве [5, 9 и др.]. Нами использованы в качестве контрольного признака средняя многолетняя урожайность зерновых и зернобобовых культур, за пятилетние (1977–1980; 1997–2001) и двадцатилетний (1982–2001) периоды.

В итоге мы проводили корреляцию между значениями Бс, Бсп, Рб, средней урожайностью зерновых и зернобобовых культур за пятилетние (1997–2001;1977–1981) и двадцатилетний (1982–2001) периоды. Полученные значения коэффициентов корреляции приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции основных бонитировочных показателей и среднемноголетней урожайности

	Бс	**Бсп**	**Рб = Бс – Бсп**	**Урожайность (1977–1981)**	**Урожайность (1997–2001)**	**Урожайность (1982–2001)**
Бс	1					
Бсп	0,748795	1				
Рб = Бс – Бсп	0,158291	–0,53592	1			
Урожайность (1977–1981)	0,419502	0,642438	–0,4227	1		
Урожайность (1997–2001)	0,367147	0,532073	–0,32497	0,689885975	1	
Урожайность (1982–2001)	0,252687	0,561068	–0,51397	0,798508251	0,928406949	1

Примечание. Связь показателей между собой статистически значима с вероятностью 0,95 ($\alpha = 0,05$).

Исходя из полученных данных, можно сделать выводы:

Показатель Бс имеет значительную связь с показателем Бсп, поскольку по своей сути оба они выражают объективные, качественные свойства почв, различаясь только в методике вычисления и количестве учтенных площадей. Со всеми остальными показателями Бс имеет незначительную связь, в том числе и с урожайностью. Последнее может быть объяснимо тем, что данный показатель оценивает весь почвенный покров территории, а не только пахотные почвы. Кроме того, урожайность в настоящее время зависит не только от объективных показателей почвы, но и от ряда антропогенных факторов (количества и качества вносимых удобрений, характера севооборота, агротехнических мероприятий и т.д.).

Показатель Бсп имеет значительную обратную связь с показателем разности бонитетов, поскольку в его определении более существенную роль будет играть Бсп. Этот показатель является довольно мобильным, время его изменения намного меньше, чем показателя Бс. Показатель Бсп имеет прямые значительные связи со всеми

показателями урожайности, что объективно доказывает правильность выбранных критериев бонитировки. Особо важна связь между Бсп и средней урожайностью за двадцатилетний период (1981–2001). Она значительна.

Показатель Рб имеет высокую обратную связь с урожайностью за двадцатилетний период (1982–2001). Это объясняется объективной сущностью показателя Рб.

Отдельного рассмотрения заслуживает показатель Рб. Он вычисляется по формуле Рб = Бс – Бсп. Объективная сущность этого показателя заключается в следующем: он показывает степень вовлечения автоморфных почв в процесс сельскохозяйственного производства. Чем данный показатель выше, тем ниже степень использования автоморфных почв, т.е. он снижается за счет более полного использования почв полугидроморфного и гидроморфного рядов, как менее ценных для сельского хозяйства. Данный показатель в состоянии решать обратную задачу – указывать на степень антропогенной нагрузки на почвы, в частности распашки. Чем он ниже, тем, соответственно, выше хозяйственное использование почв и, следовательно, антропогенная нагрузка на них. На основе показателя Рб была разработана шкала антропогенной нагрузки на почву (табл. 5).

Таблица 5

Шкала антропогенной нагрузки на почвы ЧР

Антропогенная нагрузка	Разность бонитетов (Рб)
Низкая	от 10 до 20
Средняя	от 6 до 10
Выше среднего	от 4 до 6
Высокая	от 2 до 4
Очень высокая	от 0 до 2

Нами проведено почвенно-геоэкологическое районирование территории ЧР, при котором использовались отличные от вышеперечисленных работ методологические положения. На основании полученных показателей и картографического материала проведено почвенно-геоэкологическое районирование республики. При этом учитывались показатели Рб, Бс, и Бсп. На ее территории выделено шесть основных типов почвенно-геоэкологических районов (табл. 6).

Таблица 6

Ранги почвенно-геоэкологического районирования ЧР

Ранги	Бс	Бсп	Рб	Административные районы
Высокобонитетные почвы с высокой антропогенной нагрузкой	Выше 85	Выше 79	От 0 до 4	Комсомольский.
Высокобонитетные почвы со средней антропогенной нагрузкой	Выше 85	Выше 80	От 4 до 10	Батыревский, Порецкий, Шемуршинский, Яльчикский.
Среднебонитетные почвы со средней антропогенной нагрузкой	80-85	70-80	От 4 до 10	Канашский.
Среднебонитетные почвы с низкой антропогенной нагрузкой	80-85	70-80	Выше 10	Алатырский, Красночетайский.
Низкобонитетные почвы с высокой антропогенной нагрузкой	70-80	60-70	От 0 до 4	Красноармейский, Мариинско-Посадский, Моргаушский.
Низкобонитетные почвы со средней антропогенной нагрузкой	70-80	60-70	От 6 до 10	Аликовский, Вурнарский, Ибресинский, Козловский, Урмарский, Цивильский, Чебоксарский, Шумерлинский, Ядринский, Янтиковский.

Выводы. 1. Наиболее подвержены деградации низкобонитетные почвы с высокой антропогенной нагрузкой. К ним относятся территории нескольких административных районов на севере республики. Здесь высока степень распашки почв, и они

сильно эродированы. На данных территориях, как правило, распространены дерново-подзолистые и светло-серые лесные почвы.

2. В меньшей степени деградированы высокобонитетные почвы с высокой и средней антропогенной нагрузкой. Это территории юго-востока и юго-запада республики. Здесь тоже высока доля пахотных земель, но почвы данных территорий менее подвержены эрозии. В этих административных районах преобладают почвы черноземного типа.

3. Большая часть административных районов республики принадлежит к рангу низкобонитетных почв со средней антропогенной нагрузкой. Это территории центральной, северо-западной и северо-восточной частей республики. В данных районах преобладают различные подтипы серых лесных почв.

4. Отдельно от других стоят административные районы, принадлежащие к рангу среднебонитетных почв с низкой антропогенной нагрузкой. Это Красночетайский и Алатырский районы. Здесь значительны площади лесных массивов и, соответственно, ниже доля распашки. Распространены темно-серые лесные, дерново-подзолистые и черноземные почвы (Алатырский район).

По результатам исследования впервые предложено использовать в качестве бонитировочных признаков почвы ее гидрофизические показатели: объемную массу, плотность твердой фазы, пористость, удельную поверхность, коэффициент фильтрации. Данные параметры показали очень тесную корреляционную связь с содержанием гумуса в почве (основным бонитировочным признаком, используемым в большинстве современных методик по бонитировке почв). Проведена бонитировка автоморфных почв ЧР по гидрофизическим параметрам. При этом были получены бонитировочные баллы по административным районам для всего почвенного покрова и для пахотных почв. Предложено использовать показатель Рб (разность бонитировочных баллов всего почвенного покрова и пахотных почв) в качестве критерия антропогенной нагрузки на почвенный покров административных районов, а также как показатель потенциального увеличения плодородия почв. Полученные бонитировочные показатели показали четкую связь со средней многолетней урожайностью зерновых и зернобобовых по административным районам Чувашской Республики. Проведено почвенно-геоэкологическое районирование территории данного субъекта РФ. По всем основным показателям создан комплекс карт и диаграмм.

Литература

1. *Андреев С.И.* Почвы Чувашской АССР. Т. 1. История развития почв республики и воздействия их на человека. Чебоксары: Чуваш. кн. изд-во, 1971. 358 с.

2. *Арчиков Е.И.* Экологическая оценка земельных ресурсов Чувашии // Земельный фонд Чувашской Республики и его современное состояние / Министерство природных ресурсов Чувашской Республики. Чебоксары, 1995. С. 20-25.

3. *Васюков С.В.* Гидрофизические параметры как критерий геоэкологической оценки почв Чувашской Республики: дис. … канд. геогр. наук. Казань, 2003. 225 с.

4. *Воронин А.Д.* Основы физики почв: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 286 с.

5. *Гаврилюк Ф.Я.* Бонитировка почв. Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та, 1984. 267 с.

6. *Глобус А.М.* Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 354 с.

7. *Ермолаев О.П., Игонин М. Е.* Морфология, рисунок и геоэкология ландшафтов Татарстана // Учёные записки Казанского государственного университета. 2007. Т. 149, кн. 4. С. 1-9.

8. *Сироткин В.В., Сироткин В.М.* Прикладная гидрофизика почв. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. 254 с.

9. *Тюменцев Н.Ф.* Сущность бонитировки почв на генетико-производственной основе. Новосибирск: Наука, 1975. 134 с.

ВАСЮКОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ – аспирант кафедры географии и картографии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (pv21.85@mail.ru).

VASYUKOV PAVEL VLADIMIROVICH – post-graduate student of of Geography and Cartography Chair, Kazan (Volga) Federal University, Russia, Kazan.

ВАСЮКОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат географических наук, начальник отдела геодезии и картографии, Управление федеральной службы регистрации кадастра и картографии по Чувашской Республике, Россия, Чебоксары (svasyukov@rambler.ru).

VASYUKOV SERGEY VLADIMIROVICH – candidate of geographical sciences, head of Geodesy and Cartography, Office of the Federal Registration Service inventory and mapping of the Chuvash Republic, Russia, Cheboksary.

ГАСАНОВ ИЛЬНАР МАМЕДОВИЧ – ассистент кафедры географии и картографии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань.

GASANOV ILYNAR MAMEDOVICH – assistant of Geography and Cartography Chair, Kazan (Volga) Federal University, Russia, Kazan.

СИРОТКИН ВЯЧЕСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии и картографии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (sirotkin67@rambler.ru).

SIROTKIN VYACHESLAV VLADIMIROVICH – doctor of geographical sciences, professor, head of Geography and Cartography Chair, Kazan (Volga) Federal University, Russia, Kazan.

УДК 911.37(470.41)
ББК 65.04(2Рос.Тат)

А.Н. ВАСЯКИН, Ш.Ш. ГАЛИМОВ

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЕЙ РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ БОЛГАРА И СВИЯЖСКА

Ключевые слова: *экономика, реставрация, Болгар (город), Свияжск, восстановление, туризм, Республика Татарстан.*

Туристический бизнес имеет большое значение для экономического развития стран и регионов, так как вложения многократно окупаются. Республика Татарстан на сегодняшний день обладает значительным потенциалом для развития туризма: уникальное сочетание западной и восточной культур, множество природных рекреационных ресурсов, разнообразие этнического состава (славянские, тюркские, финно-угорские и другие народы).

A.N. VASYAKIN, Sh.Sh. GALIMOV

THE ECONOMIC IMPORTANCE OF PRESERVING THE HISTORICAL SIGHTS OF THE REGION AN EXAMPLE BOLGAR AND SVIYAZHSK

Key words: *economy, restoration, Bolgar (city), Sviyazhsk Restoration, tourism, Republic of Tatarstan.*

The examples of other countries are noticeable that the tourist business is of great importance for the economic development of countries and regions, as investments pay off many times. Tatarstan today has great potential for tourism development: a unique blend of Eastern and Western culture, many natural recreational resources, the diversity of the ethnic composition (Slavic, Turkic, Finno-Ugric, and other peoples).

Пример многих зарубежных государств доказывает, что туристический бизнес в наше время является одной из наиболее быстро развивающихся отраслей экономики как отдельных регионов, так и страны в целом. В числе главных преимуществ выделяется туристский продукт как элемент культурного наследия, причем это может быть отнесено как к конкретной территории или региону, так и ко всему государству. В Республике Татарстан можно отметить богатое культурно-историческое наследие,

выраженное, в том числе, и в памятниках архитектуры. В республике есть несколько городов с множеством достопримечательностей, в частности Свияжск (Зеленодольский район) и Болгар (Спасский район).

Болгар – город в России, административный центр Спасского района Татарстана. Город расположен на левом берегу Волги, в 200 км от Казани. Около современного города расположено городище Булгар – Болгарский государственный историко-архитектурный музей-заповедник, которому планируют присвоить статус федерального, а также включить его в число объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Предполагается, что городище Булгар и город Болгар могут стать туристическим центром федерального значения.

Новейшая история г. Болгар богата различными событиями: В 1926–1935 гг. город назывался Спасск-Татарский для отличия от других городов с тем же названием, в 1935–1991 гг. – Куйбышев (в память В.В. Куйбышева, умершего в 1935 г.). В связи с заполнением Куйбышевского водохранилища в 1957 г. город был перенесён в район села Булгары.

В 1991 г. город был переименован в Болгар по имени древнего города Булгар Волжской Булгарии, городище (развалины) которой находится недалеко от города.

С 2010 г. по инициативе и при попечительстве первого президента Татарстана Шаймиева в Булгаре началась широкомасштабная реализация программы республиканского Фонда сохранения и развития Булгара и Свияжска «Возрождение», включающая реставрацию и реконструкцию исторических достопримечательностей и строительство новых объектов культуры и инфраструктуры. Производится и планируется сооружение новых зданий мечети (подобной по стилю мечети Кул-Шариф в Казани, но несколько меньшей), комплекса речного вокзала, гостиницы и экспозиционно-информационного центра музея-заповедника, Музея хлеба с мельницей и пекарней, Музея ремёсел с кузницей и других объектов.

Болгар имеет множество достопримечательностей, среди которых можно отметить: Городище Булгар, Строящийся Храм Пресвятой Троицы в селе Ржавец (8 км от г. Болгар), Свято-Авраамиевскую церковь, Музей хлеба (строится), Музей ремёсел (строится) [2].

В процессе анализа туристского потенциала Спасского района и г. Болгар учитывалась специфика природно-ландшафтных характеристик, традиций и этнического состава населения, ремесел, историко-культурного наследия.

Вся совокупность туристских ресурсов Спасского муниципального района, образующих потенциал для развития сферы туризма, была внесена в реестр туристских ресурсов.

О высокой международной значимости Спасского муниципального района свидетельствует тот факт, что на территории г. Болгар ежегодно проводится мероприятие международного масштаба «Изге Болгар жыены», посвященное дате принятия Ислама волжскими булгарами, которое собирает мусульман со всех регионов России и, в последнее время, из-за границы.

Большую роль также играют следующие факторы:

– наличие некогда бывших дворянских поместий и усадеб на территории Спасского муниципального района может привлечь поток бывших эмигрантов;

– есть все условия и возможности для развития экологического туризма, очень популярного сегодня у европейских туристов;

– река Волга, по берегам которой расположено много населенных пунктов, является наиболее популярным направлением развития «круизного» туризма. Она подходит для разных целевых групп туристов – от «социальных» до «VIP» из Западной и Восточной Европы.

Как показывают исследования, туристский потенциал муниципального Спасского района и г. Болгар используется далеко не в полной мере, а ряд ресурсов не используется вообще.

В связи с этим Программа предполагает реализацию туристского потенциала Спасского муниципального района и г. Болгар по следующим ключевым направлениям:

1. Болгар – самая северная точка ислама.

Реализация данной концепции возможна благодаря наличию следующих факторов:

– Болгар и Республика Татарстан как регион, представляющий толерантный неэкстремистский ислам;

– историческое наследие древнего государства – Волжской Булгарии;

– проведение на территории города Болгар международного фестиваля «Изге Болгар жыены»;

– единственный в России современный туристский комплекс стандарта «халяль»;

– благоприятная экологическая обстановка.

Для развития данного направления в первую очередь предполагается организация инвестиционной площадки и форумов для производителей продукции «халяль», на которую имеется большой спрос как на территории РТ, так и РФ.

2. Дворянское гнездо.

На территории Спасского муниципального района расположено большое количество поместий и усадеб русского дворянства. Этот факт может позволить развить так называемый «ностальгический» туризм, направленный на привлечение известных дворянских фамилий, проживающих в ближнем и дальнем зарубежье, для восстановления родовых имений, проведения дворянских собраний, возрождения традиций меценатства и т.п.

Для увеличения туристского потока в Спасский район и г. Болгар путём создания необходимых условий для формирования туристско-рекреационного комплекса международного уровня на территории района необходимо:

1. Осуществление комплексного развития сферы туризма для обеспечения устойчивого экономического и социального развития г. Болгар и Спасского района Республики Татарстан и удовлетворения потребностей местных, российских и иностранных граждан в туристско-рекреационных услугах.

2. Увеличение доходной части бюджета от туризма, притока инвестиций, увеличения числа рабочих мест; сохранение, развитие и рациональное использование культурно-исторического потенциала Спасского района и г. Болгар.

3. Создание оптимальных условий для развития туризма на территории района, формирование его инвестиционной привлекательности.

4. Создание маршрутной базы и туристского продукта с учетом особенностей историко-культурного и природно-климатического потенциала.

5. Развитие доступной туристской, инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры.

6. Привлечение инвестиций и внедрение инноваций в сферу рекреации и туризма на территории региона.

7. Развитие международных и межрегиональных связей.

8. Создание условий для освоения и развития новых туристических ресурсов Спасского района и г. Болгар.

Основная задача Программы мероприятий по развитию туристической отрасли Спасского района в 2011–2016 гг. состоит в создании «культурного ядра» туристско-рекреационного комплекса, способного дать энергию последующему ее развитию.

В рамках Программы предполагается возникновение следующих видов социально-экономического эффекта:

1) генерация денежного потока от реализации туристского продукта;

2) прирост налоговых поступлений.

Даже при инерционном сценарии развития рекреационной зоны Болгарского государственного историко-архитектурного музея-заповедника (БГИАМЗ) прогноз посещаемости туристами оценивается в количестве более 100 000 человек к 2016 г. Минималь-

ный операционный доход субъектов предпринимательства в данном случае оценивается на уровне не менее 150 млн руб. в год. Данные показатели не учитывают динамичное развитие объектов культурно-исторического наследия Республики Татарстан, что, в свою очередь, привлечет дополнительный туристический поток.

Таким образом, инновационный сценарий развития территории позволяет прогнозировать количество туристов, посетивших БГИАМЗ, ориентировочно 140 000-150 000 человек.

Доходы от поступления в бюджеты различного уровня от деятельности экономических субъектов, по прогнозным данным, превысят 25 млн руб., а с учетом деятельности дотационных организаций – более 35 млн руб. ежегодно. Данный показатель имеет тенденцию к увеличению в условиях повышения деловой активности действующих экономических субъектов за счет повышения доходности деятельности, а также дополнительных инвестиционных поступлений на содержание объектов государственной и муниципальной собственности [11].

В таблице представлена упрощенная схема анализа общей суммы налоговых отчислений от реализации проекта.

Прогноз роста налоговых отчислений от привлечения туристов в Спасский район в 2013-2016 гг. [11]

Налог (отчисление)	База	Ставка, %	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
НДС	Выручка	18	9 876 266	11 811 729	15 251 405	18 720 791
Социальные отчисления	Фонд оплаты труда	27	7 407 199	8 858 797	11 438 554	14 040 593

Налог на имущество, часть налога на прибыль остаются в данном бюджете, но прогнозировать в точности размер выручки и фонда оплаты труда не представляется возможным.

Социальная составляющая результатов реализации Программы:

1) формирование современной высокоэффективной туристической индустрии в городе Болгар и в Спасском муниципальном районе;

2) увеличение внутренних и въездных туристских потоков;

3) увеличение поступлений налогов и сборов в городской бюджет и бюджет РТ;

4) прирост рабочих мест в туристической сфере и в сфере обслуживания;

5) достижение уровня жизни с фактического значения 0,41 до порогового значения 0,49;

6) повышение средней заработной платы населения района.

Мероприятия, предусмотренные Программой, позволят сформировать «ядро» культурно-исторической туристической отрасли Республики Татарстан, что способствует созданию на территории Спасского муниципального района и города Болгар современной конкурентоспособной туристической отрасли. По предварительным оценкам, Программа позволит с учётом выполнения указанных мероприятий сформировать высокоэффективную туристско-рекреационную инфраструктуру [5].

Аналогичным по значимости регионом является Зеленодольский район – это один из наиболее посещаемых в рекреационных целях районов пригородной зоны Казани, в том числе в целях оздоровления. Так, на кратковременный отдых в учреждениях санаторно-курортного типа район может принять примерно 20 000 человек в год, в оздоровительных лагерях – около 3000 человек. Таким образом, район обеспечивает около 34% посещений в границах пригородной зоны Казани в целях кратковременного отдыха, не считая отдыхающих баз отдыха и дачных товариществ.

Зеленодольский район является одним из наиболее посещаемых в религиозных, паломнических целях районов Республики Татарстан и Поволжья. Два таких крупных религиозных центра православной культуры, как Раифа и Свияжск, в период

значимых православных праздников собирают огромное количество верующих и интересующихся людей.

Необходимо отметить сезонность посещений (весенне-летний период) и емкость потока – 90 человек в день. По данным Богородице-Успенского мужского монастыря, на сегодняшний день выделилась отдельная целевая группа туристов, которые ночуют на острове, – паломники. При этом прослеживаются тенденции к увеличению численности паломников в дни Пасхи и Рождества [5].

Свияжск – село в Зеленодольском районе Татарстана, при впадении реки Свияги в Волгу. В настоящее время Свияжск расположен на острове, соединённом с берегом насыпной дамбой, по которой проложена полноценная автомобильная дорога. Железнодорожная станция Свияжск расположена в 6 км западнее острова в посёлке городского типа Нижние Вязовые.

История города Свияжска была богата на различные события как в царские, так и в советские времена.

Существуют противоречивые свидетельства о воздвижении памятников Иуде на территории РСФСР (и, в частности, в Свияжске) в ранние годы советской власти.

С 2009 г. в апреле в день памяти Шаляпина проводится ежегодный Свияжский фестиваль духовной музыки всероссийского значения.

С 2010 г. на острове-граде началась широкомасштабная реализация программы республиканского Фонда сохранения и развития Булгара и Свияжска «Возрождение», включающая реставрацию и реконструкцию исторических достопримечательностей и строительство новых объектов культуры и инфраструктуры, а также обновление жилого фонда жителей Свияжска.

С 2010 г. в июле проводится ежегодный Открытый турнир Татарстана всероссийского значения по стрельбе из лука и арбалета «Кубок Свияжска».

В мае 2011 г. Свияжск вновь оказался на острове – транспортная дамба рассечена каналом, через канал проложен мост.

В июле 2011 г. сдано новое здание речного вокзала с информационным центром музея-заповедника, кафе и автобусной стоянкой.

Планируются скорое сооружение и открытие новой гостиницы (в дополнение к гостинице, организованной в реконструированном здании бывшего приюта слепых), смотровой площадки, музея реки Свияги, мемориала-памятника жертвам политических репрессий, реплики ботика, на котором Свияжск посетил император Павел I, и других объектов.

Свияжск – один из популярнейших туристических объектов Татарстана, имеющий целый комплекс достопримечательностей, среди которых: Богородице-Успенский мужской монастырь, Успенский собор (1556–1561), Колокольня Никольской церкви (1556) и др. [3].

В городе действует государственное бюджетное учреждение культуры Республики Татарстан «Государственный историко-архитектурный и художественный музей “Остров-град Свияжск”».

На острове планируется создание в Свияжске музея-заповедника федерального значения [9].

Территория Свияжска с 1998 г. является кандидатом на включение в список Всемирного наследия ЮНЕСКО [12].

Свияжск имеет очень высокий потенциал развития, который уже начал реализоваться благодаря завершённому сооружению дамбы, активно развернувшимся работам Фонда «Возрождение», а также восстановлению и развитию острова-града как музея-заповедника федерального значения по инициативе и при попечительстве первого Президента Татарстана Шаймиева и созданию Свияжского мультимодального центра Казанской агломерации, призванного связать перевозку грузов автомобильным, железно-

дорожным и водным транспортом и способного в перспективе стать ядром транспортно-логистической системы перевозки грузов всего Поволжского региона [6].

По данным Министерства культуры РТ, территория всего острова, на которой не запрещена туристская деятельность, составляет около 16 га. Туристская емкость территории составляет не более 3000 человек единовременно без ущерба для культурного слоя и объектов историко-культурного слоя значения. Свияжским Богородице-Успенским мужским монастырем предоставлены следующие данные по ожидаемому количеству паломников:

– ежедневное ожидаемое количество паломников без размещения может достигнуть 2000 человек;

– в дни православных праздников (Пасха, Рождество Христово, Крещение, Троицын День, Успение) – до 10 000 человек.

По данным Министерства по делам молодежи, спорту и туризму РТ, с учетом предстоящих мероприятий по развитию инфраструктуры поток туристов может увеличиться до 500 человек в день, а в течение года – до 50 тыс.

Международная значимость, по мнению экспертов (WICE-DSL), связана, прежде всего, с огромным интересом иностранных туристов к сочетанию на одной территории нескольких интересных факторов:

– остров-град Свияжск связан с именем известного русского царя Ивана Грозного и строительством города-крепости без единого гвоздя;

– ассоциация острова с «Волжским Иерусалимом»;

– уникальные традиции православной духовной культуры: колокольный звон, православное хоровое пение, иконопись и духовная русская живопись;

– наследие российского купечества, традиции проведения ярмарок в православные праздники.

Огромную роль в процессе привлечения иностранных туристов играет местоположение самого острова между двух рек – Волги и Свияги, особенно Волги, которая как круизное направление очень популярна в странах Западной и Восточной Европы.

Макроэкономический эффект реализации программы проявляется в виде ускорения динамики основных социально-экономических показателей – роста валового регионального продукта Республики Татарстан и роста занятости населения:

– прямой экономический эффект – повышение спроса на объем продукции и услуг, предлагаемых татарстанскими предприятиями, и, как следствие, прирост валового регионального продукта и занятости населения в регионе;

– мультипликативный экономический эффект межотраслевых взаимодействий – рост производства продукции, полученный в результате прямого экономического эффекта, вызывает рост потребления в смежных отраслях, поставляющих сырье и оборудование, что, в свою очередь, влияет на рост валового регионального продукта и занятости населения в районе;

– эффект от роста доходов – повышение спроса на товары и услуги вследствие роста заработной платы и занятости населения.

Прирост регионального валового продукта осуществляется за счет:

1) поступления дополнительных денежных потоков от реализации туристских маршрутов и программ, разработанных в Программе;

2) прироста налоговых поступлений в бюджет РТ.

Кроме того, свой вклад внесет дополнительный эффект, который будет складываться из улучшения общеэкономического фона в регионе, ускорения темпов развития экономики Зеленодольского и близлежащих районов, что привлечет внимание инвесторов и будет способствовать росту деловой активности [5].

Расчет экономического эффекта в виде увеличения денежного притока от внедрения мероприятий по организации туристического потока в Свияжск носит усред-

ненный характер. В основу усреднения заложена прогнозная численность посещений Свияжска, время – основной фактор сезонности – варьирует данный показатель в большую и меньшую сторону.

Социальная составляющая результатов реализации Программы:

1. Формирование современного туристского центра мирового значения на острове-граде Свияжск и в Зеленодольском муниципальном районе РТ.

2. Увеличение внутренних и въездных туристских потоков.

3. Увеличение поступлений налогов и сборов в бюджет острова-града Свияжск и бюджет РТ.

4. Прирост рабочих мест в туристической сфере и в сфере обслуживания.

5. Повышение средней заработной платы населения района.

Мероприятия, предусмотренные Программой, позволят сформировать ядро культурно-исторической туристической отрасли Республики Татарстан, что способствует созданию на территории Зеленодольского муниципального района и острова-града Свияжск современной конкурентоспособной туристической отрасли [5].

Как уже было сказано выше, ведущее значение в развитии регионального туризма имеют реставрация и восстановление памятников архитектуры, культуры и религиозных сооружений. В Республике Татарстан большую роль в этом сыграла деятельность экс-президента республики Минтимера Шариповича Шаймиева.

Федеральный центр по просьбе президента Татарстана готов в течение двух лет финансировать заповедники в Болгаре и Свияжске. На коллегии министерства культуры РТ был озвучен размер финансовых вливаний в эти проекты – он должен составить 1,6 млрд руб. в течение двух лет. Таким образом, желание Шаймиева заняться после ухода с поста президента РТ проблемами этих объектов исторического наследия Татарстана подкреплено значительными финансовыми ресурсами [13].

Также можно отметить, что преимуществом для республики является уникальное сочетание западной и восточной культур.

Одним из важнейших праздников, объединивших культуру многих народов, является сабантуй – народный башкирский, татарский и чувашский праздник. Похожие праздники существуют как у других народов Поволжья (марийцев, мордвы, удмуртов), так и у некоторых тюркских народов Кавказа (балкарцев и ногайцев), однако они имеют свою специфику. Имеются и некоторые различия в наименовании праздника и особенностях праздновании сабантуя у различных этнографических групп башкир, татар и чувашей.

В настоящее время сабантуй приобрел в Татарстане статус государственного праздника: издаются указы и постановления о подготовке, сроках и местах проведения, назначаются оргкомитеты из руководителей самого высокого ранга на каждом уровне (село, поселок, район, город, республика), определяются источники финансирования. Старинный праздник постепенно дополняется современными традициями, однако основные черты торжества сохраняются, переходя из века в век.

Во время своего визита в Казань Генеральный директор ЮНЕСКО поддержал инициативу о выдвижении татарского национального праздника «Сабантуй», являющего собой живую традицию и пользующегося искренней любовью народа, в число претендентов на включение в Список шедевров устного и нематериального наследия ЮНЕСКО [4].

Республику Татарстана традиционно называют «мультикультурной», подразумевая взаимовыгодное обогащение мирно сосуществующих русской и татарской культур [10].

Республика Татарстан награждена орденом Дружбы народов. Орден Дружбы народов – одна из государственных наград СССР [7].

Последние двадцать лет новейшей истории Республики Татарстан были ознаменованы активным участием республики в международной деятельности, в летописи которой немало ярких страниц. Оглядываясь назад, можно констатировать, что за этот период Татарстану удалось добиться заметных результатов, найти свое место в быстро меняющемся современном мире. За республикой закрепился имидж стабильного и последовательно развивающегося региона, Татарстан получил международное признание как надежный и перспективный деловой партнер, открытый для взаимовыгодного сотрудничества.

Литература и источники

1. *Александров П.* Баланс двух культур в логотипе нового фонда // Республика Татарстан. 2010. 20 марта.

2. Болгар [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия: сайт. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Болгар.

3. *Минвалев А.* Москва даёт Шаймиеву 1,6 млрд. рублей // Московский комсомолец–Поволжье. 2010. 3-10 февр. С. 2.

4. Национальный праздник «Сабантуй» [Электронный ресурс] // 1000-летие Казани: офиц. сервер юбилея. URL: http://www.kazan1000.ru/rus/holiday/plough.htm.

5. Программа развития сферы туризма Зеленодольского муниципального района на 2011-2016 гг. [Электронный ресурс]. URL: http://www.zelendol.ru/upload/File/Programs/2011/Program_tourism.doc.

6. Проектно-изыскательные работы по строительству логистического центра в Свияжске выполнит ЗАО «Казанский Гипроииавиапром» [Электронный ресурс] // Министерство транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан: сайт. URL: http://mindortrans.tatarstan.ru/rus/index.htm/news/35528.htm.

7. Республика Татарстан [Электронный ресурс] // Банк городов: сайт. URL http://www.bank-gorodov.ru/region/region.php?id=12.

8. Свияжск [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия: сайт. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Свияжск.

9. Свияжск станет объектом федерального значения [Электронный ресурс] // Татар-информ: информационное агентство. 2009. 27 апр. URL: http://www.tatar-inform.ru/news/2009/04/27/164782.

10. Татарстан [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия: сайт. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Татарстан.

11. Фонды БГИАМЗ [Электронный ресурс] // Болгарский государственный историко-архитектурный музей-заповедник: сайт. URL: http://www.bolgar.info/about2.php.

12. The ensemble of former city building of Sviyazhsk [Electronic resource] // UNESCO. World Heritage Centre: site. URL: http://whc.unesco.org/en/tentativelists/1111.

13. http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1097855&page=2.

ВАСЯКИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – аспирант кафедры экономической географии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (alecs788@mail.ru).

VASYAKIN ALEXANDR NIKOLAEVICH – post-graduate student of Economic Geography Chair, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan (alecs788@mail.ru).

ГАЛИМОВ ШАМИЛЬ ШАГИТОВИЧ – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической географии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (GALIMOV_1957@mail.ru).

GALIMOV SHAMIL SHAGITOVICH – candidate of economics sciences, associate professor of Economic Geography Chair, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan (GALIMOV_1957@mail.ru).

УДК 551.433(470.4)
ББК 26.8 – Географические науки

А.П. ДВИНСКИХ, В.В. МОЗЖЕРИН

ВТОРИЧНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ РЕЛЬЕФ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ*

Ключевые слова: *структурный рельеф, отражение тектонических структур в рельефе, структурные террасы и плато, куэсты, селективная денудация, Среднее Поволжье.*

На территории Среднего Поволжья выделены 7 основных литолого-стратиграфических комплексов горных пород. Их пространственное размещение контролирует абсолютные высоты и морфологию рельефа, а также образование вторичного структурного рельефа. Повсеместно отчетливо выражена прямая зависимость между высотой водораздельных плато и устойчивостью горных пород, слагающих их, к процессам выветривания и денудации. Препарировка наиболее устойчивых слоев горных пород в течение длительных эпох денудации привели к формированию 8 структурных бронирующих пластов регионального и 12-15 слоев местного значения. С ними связано возникновение различных форм вторичного структурного рельефа – структурных террас и плато, куэстоподобного рельефа, отпрепарированных антиклинальных складок различного размера.

A.P. DVINSKIKH, V.V. MOZZHERIN

SECONDARY STRUCTURAL RELIEF OF MIDDLE VOLGA REGION

Key words: *structural relief, reflection tectonic structures in relief, structural terraces and plateaus, cuestas, selective denudation, Middle Volga region.*

7 basic lithologic-stratigraphic complexes of bedrock in Middle Volga region were distinguished. Spatial pattern of these influences distribution of topographic elevations and morphology of relief, as well formation of secondary structural relief. Direct dependence of watershed plateaus elevation on stability of bedrocks composing them and their resistance to weathering and denudation processes is distinctly expressed everywhere. Preparation of the most resistant bedrock layers by long-term denudation processes has led to formation of 8 structural armoring layers of regional and 12–15 layers of local importance. Associated with them is the formation of different forms of secondary structural relief, such as structural terraces and plateaus, cuesta-like landforms, prepared anticlinal folds of various scale.

Структурный рельеф отражает условия залегания горных пород, т.е. характер тектонической структуры. Это отражение может быть активным или пассивным. Активное отражение связано с проявлением молодых тектонических движений, создающих одновременно и тектонические структуры, и соответствующие им формы рельефа. Пассивное отражение тектонических структур в формах рельефа обусловлено длительным воздействием выветривания и денудации на горные породы различной устойчивости к этим процессам. В результате в рельефе выделяются элементы тектонических структур, сложенные наиболее стойкими породами и дающие представление о характере тектонического строения местности. Формы рельефа, образующиеся в результате активного отражения, называют первичным структурным рельефом, в результате пассивного отражения – вторичным.

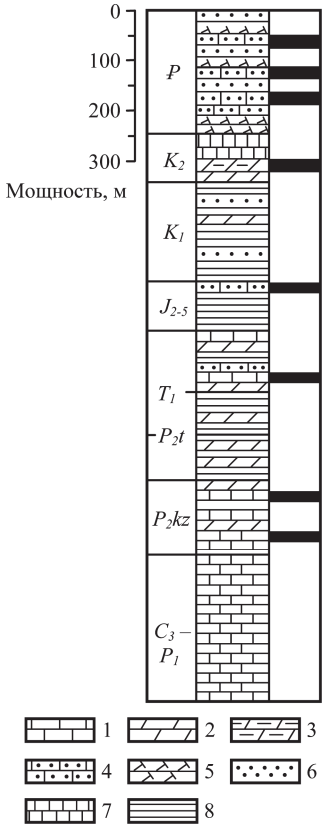
Пластовые денудационные возвышенности востока Восточно-Европейской (Русской) равнины, длительное время подвергающиеся выветриванию и денудации, сложены толщей осадочных пород, суммарной мощностью около 1400 м – от верхнего карбона до эоцена включительно. Воздействие этих процессов привело к препарировке пластов наиболее стойких пород и формированию сложного комплекса форм вторичного структурного рельефа. К последним относятся структурные террасы и плато, куэстоподобные гряды, отпрепарированные тектонические валы, брахантик-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00489).

линали и купола; иными словами, все формы залегания пластов осадочных пород в той или иной мере находят пассивное отражение в рельефе.

Перечисленные формы вторичного структурного рельефа различны по размерам, морфологии, механизму и условиям формирования, возрасту. Их разнообразие отражает, прежде всего, литолого-тектоническую основу. Анализ этих форм значительно облегчает изучение геологического строения местности.

Структурные террасы являются наиболее распространенными формами вторичного структурного рельефа рассматриваемой территории. Они приурочены к многочисленным горизонтально или почти горизонтально залегающим пластам наиболее стойких пород, чередующихся со слабо консолидированными или легко поддающимися выветриванию отложениями. Ширина структурных террас обычно измеряется десятками или сотнями метров, террасы осложняют крутые или средние по крутизне склоны речных долин, обладают плоскими или слабонаклонными поверхностями, усеянными щебнем и дресвой стойких пород, с четко выраженными бровками. Одни террасообразующие горизонты имеют широкое региональное распространение, другие – местное локальное. Всего в осадочной толще, слагающей рельеф региона, можно выделить 8 региональных террасообразующих пластов и до 12-15 пластов местного значения (рисунок) [8].



Основные региональные структурообразующие (бронирующие) горизонты осадочной толщи, слагающей рельеф на востоке Восточно-Европейской равнины
Условные обозначения:
1 – известняк и доломит;
2 – мергель; 3 – кремнистый мергель; 4 – песчаник; 5 – опока;
6 – песок; 7 – мел; 8 – глина

Структурные террасы обычно развиты на крутых склонах асимметричных долин, имеющих неоплейстоценовый возраст [5]. Кореллятными этим денудационным склонам и террасам образованиями служат делювиально-солифлюкционные суглинисто-щебневые шлейфы, поздненеоплейстоценовый возраст которых устанавливается по их соотношению с аллювиальными террасами. Образование большинства структурных террас происходило под действием плоскостной (мелкоручейковой) эрозии в условиях перигляциального климата позднего неоплейстоцена в его криоксеротические фазы. Вместе с тем не исключено, что часть террас образовалась в перигляциальном климате среднего неоплейстоцена. В гумидном климате голоцена и неоплейстоценовых межледниковий благодаря сомкнутому растительному покрову, препятствующему плоскостной эрозии, террасообразование ограничивалось лишь очень крупными обнаженными склонами, и его масштабы были незначительны. Таким образом, в настоящее время структурные террасы сохраняются как реликты древних перигляциальных эпох [12].

Структурные плато. Стойкие к выветриванию и денудации горные породы не только создают террасы на склонах, но и бронируют водоразделы поверхностей выравнивания. В таком бронировании водоразделов принимают участие те же пласты, которые слагают структурные террасы (рисунок).

Наиболее часто структурные плато встречаются в области палеогеновых отложений на Приволжской возвышенности и в районах распространения отложений казанского яруса в Высоком

Заволжье, в условиях спокойного их залегания. Нередки бронированные плато в отложениях верхнего мела и татарского отдела верхней перми. Почти полностью они отсутствуют в юрских и, особенно, в нижнемеловых отложениях. Однако в бассейнах верхних течений Вятки и Камы в этих отложениях появляются пласты конгломератов и песчаников верхней перми, нижнего триаса и средней юры, бронирующие некоторые водоразделы [9].

Следует подчеркнуть определенную условность разграничения структурных террас и структурных плато. В типичном для региона двух- и трехъярусном денудационном рельефе [7, 10, 14 и др.] бронированные стойкими породами нижние пласты выглядят как очень широкие (до 10-12 км) структурные террасы. Возраст поверхностей структурных плато соответствует возрасту поверхностей выравнивания, элементами которых они являются. Все рассматриваемые поверхности были сформированы путем педиментации; верхняя (с высотами 280-360 м) – в саванном климате позднего миоцена – раннего плиоцена, средняя (180-240 м) – в семиаридном климате позднего эоплейстоцена – раннего неоплейстоцена; нижняя (140-160 м) – в перигляциальном климате среднего и позднего неоплейстоцена [10, 12, 19 и др.]. В этих климатах интенсивно развивались процессы плоскостной эрозии, под действием которых происходило выравнивание рельефа. Водораздельные поверхности обоих уровней сохраняют остатки более высокого и древнего рельефа в виде останцовых форм, которые различаются по размерам и морфологии – от крупных платформенных массивов высотой до 100 м до небольших округловершинных холмов высотой 10–15 м.

Куэстоподобный рельеф. В рассматриваемом регионе нет типичных куэстовых гряд. Однако в условиях моноклинального залегания пород некоторые структурные плато приобретают асимметричный куэстообразный профиль. Таковы, например, Жигулевский массив, сложенный падающими на юг пластами известняков и доломитов карбона и перми, асимметричные водораздельные гряды на крыльях Вятского вала в его северной части, сложенные татарскими известняками и конгломератами. Куэстоподобный облик имеют северные уступы некоторых массивов верхнего плато Приволжской возвышенности и южные уступы массивов верхнего плато Верхнекамской возвышенности. В условиях моноклинального залегания пород пласты конгломератов нередко слагают куэстовые гряды. Речная сеть хорошо приспособлена к элементам тектонической структуры, а сами гряды расчленены долинами и балками на отдельные холмы удлиненной формы с асимметричным поперечным профилем.

Куэстоподобный рельеф особенно хорошо выражен на крыльях Вятского вала северо-восточнее г. Кирова в районе пос. Белая Холуница [9]. В целом этот участок вала характеризуется инверсионным рельефом. Его формирование обусловлено тем, что в осевой части на поверхность выходят нестойкие к денудации глинисто-мергельные породы уржумского яруса средней перми, на крыльях – более стойкие породы северодвинского яруса верхней перми и нижнего триаса, содержащие пласты известняков, песчаников и конгломератов.

Антиклинальные структуры различных типов (**отпрепарированные валы, брахиантиклинали и купола**) также находят отражение в формах вторичного структурного рельефа. Селективная денудация удаляет в первую очередь легко поддающиеся выветриванию породы, выделяя в рельефе элементы тектонических структур, сложенные наиболее стойкими породами. В зависимости от характера выделяемых денудацией элементов отражение структур в рельефе может быть прямым или обратным.

В конце прошлого столетия А.П. Павлов [16] установил Жигулевскую дислокацию, П.И. Кротов [13] – Вятскую. Оба исследователя связывали отчетливую геоморфологическую выраженность открытых ими антиклинальных структур, прежде всего, с литологическими условиями: в ядрах этих антиклиналей выходят наиболее устойчивые к денудации известняки и доломиты.

В Жигулях известняково-доломитовая толща карбона и перми поднимается на 350 м над Волгой, слагая все высшие точки рельефа. Резко асимметричный Жигулёвский вал

сформировался после эоцена, наиболее вероятно в олигоцене. Но уже к концу миоцена в Жигулях денудация срезала почти 600-метровую толщу мезозойских и палеогеновых пород, обнажив жесткое каменноугольно-пермское ядро вала. В восточной части Самарской Луки амплитуда вертикального смещения пластов на северном флексурообразном крыле вала составляет 700 м. Западнее в районе г. Сызрани она уменьшается на 200 м. Соответственно на 200 м уменьшается высота гряды, сложенной каменноугольно-пермской известняковой толщей. Эта гряда, расположенная в осевой части вала севернее г. Сызрани, известна под названием Губинских Жигулей, высота которых составляет всего 150-160 м, т.е. на 200 м ниже собственно Жигулей.

Что касается Вятских дислокаций, то, в соответствии с современными представлениями [2, 3], эта зона является единой антиклиналью, а состоит из нескольких валов, расположенных параллельно друг другу и кулисообразно. У большинства валов в ядрах выходят стойкие породы – известняки и доломиты казанского яруса, благодаря чему эти валы имеют прямое отражение в рельефе. К ним приурочены островные останцовые возвышенности верхнего и среднего плато, абсолютные высоты которых находятся в прямой зависимости от высоты кровли пород казанского яруса. Однако в северной части зоны Вятских дислокаций, где кровля казанского яруса лежит ниже местных базисов эрозии, а в ядре вала выходят глинисто-мергельные породы уржумского яруса средней перми, рельеф становится обращенным. К осевой зоне приурочены понижения, на крыльях же более стойкие известняки, конгломераты и песчаники татарского отдела образуют куэстоподобные гряды. Не следует, однако, полагать, что оба вала – Жигулевский и Вятский – отражены в рельефе исключительно пассивно. Здесь одновременно сочетаются и активное, и пассивное отражение, о чем свидетельствуют тектонические деформации верхней и средней поверхности выравнивания [3, 6] и многие другие факты [14].

Денудация отпрепарировала также многие брахиантиклинали и купола за пределами рассмотренных зон дислокаций, благодаря чему эти структуры во многих случаях отчетливо отражены в современном рельефе. Препарировка осуществлялась двумя основными процессами: плоскостным смывом и боковой эрозией рек.

Плоскостной смыв в районах ряда брахантиклиналей и куполов сформировал полого-сводовое плато. Это еще одна разновидность структурных плато – наряду с горизонтальными и моноклинальными. Их можно наблюдать в областях развития палеогеновых и верхнемеловых отложений Приволжской возвышенности, где бронирующими пластами чаще всего служат камышинская свита и кремнистые мергели сантона, казанские отложения Высокого Заволжья, где главную роль играют доломиты «подлужника» и верхнеспириферовые известняки [1, 18]. Многие локальные пассивные структуры С.К. Горелова [4] также представляют собой отпрепарированные брахиантиклинали и купола.

Препарировку тектонических структур осуществляла также боковая эрозия Волги и некоторых других рек, русла которых неуклонно смещались вправо под действием силы Кориолиса. В ядрах структур, где известковая толща карбона и перми особенно высоко поднята, скорость смещения уменьшалась, и здесь образовались выступы правого коренного склона и всего правобережного плато. Классическим примером служит излучина Самарской Луки, образовавшаяся в результате более быстрого смещения русла Волги в мезозойских отложениях севернее и южнее Луки и его стабильного положения в Жигулевских воротах, где река прорывает Жигулевский вал. Если судить по положению доакчагыльского русла Волги, в плиоцене Самарской Луки еще не было.

Резкие повороты русла Волги и всей ее долины у с. Верхний Услон напротив Казани и у пос. Камское Устье связаны с наличием здесь брахиантиклиналей. В их ядрах высоко (до 80-90 м над меженью Волги) подняты жесткие карбонатные породы казанского яруса, крылья же сложены в основном глинисто-мергельными породами татарского отдела. Интересно отметить, что на нижней Волге, где ядра брахиантиклиналей сложены легко размываемыми песчано-глинистыми породами юры и нижнего мела, к таким структурам приурочены не выступы, а выемки коренного плато [17]. На Каме и других

реках, где односторонний подмыв одного из склонов выражен не так ярко, как на Волге, препарировка структур боковой эрозией проявляется менее отчетливо.

Изложенный материал свидетельствует о широком развитии в пределах Среднего Поволжья вторичного структурного рельефа – форм рельефа, возникновение которых связано с неодинаковой скоростью выветривания и денудации в различных по устойчивости к этим процессам горных породах. Вторичный структурный рельеф в Среднем Поволжье распространен неравномерно, при этом его возникновение и развитие изменяется как в пространстве, так и во времени. Пространственный аспект выражается в том, что вторичный структурный рельеф распространен исключительно в областях развития деструкционного рельефа – возвышенностей, водораздельных плато, верхних частей склонов, где процессы выветривания и денудации способны в течение геологического времени вскрыть и отпрепарировать различные по устойчивости слои горных пород. Временной аспект связан с тем, что возникновение вторичного структурного рельефа происходит стадийно, в эпохи общей планации рельефа. Эти эпохи господствуют в течение перигляциальных, семиаридных и саванных систем экзогенного рельефообразования, во время которых склоны и водоразделы лишены растительности и подвергаются интенсивной переработке.

Литература

1. *Андреев Д.К.* Зависимость современного рельефа Ульяновско-Саратовской синеклизы от тектонического строения // Труды Моск. филиала ВНИГРИ. 1949. Вып. 2. С. 102-118.

2. *Бороздина З.И.* Новые данные о тектонике Кировской области // Советская геология. 1963. № 1. С. 97-109.

3. *Бутаков Г.П.*, *Дедков А.П.* Вятский Увал: основные черты геоморфологии и неотектоники / Геодинамика равнинного рельефа. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. С. 41-70.

4. *Горелов С.К.* Морфоструктурный анализ нефтегазоносных территорий (на примере юго-востока Русской равнины). М.: Наука, 1972. 216 с.

5. *Дедков А.П.* Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Приволжье. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1970. 256 с.

6. *Дедков А.П.* О денудационных срезах и древних поверхностях выравнивания в Среднем Поволжье / Экзогенные процессы в Среднем Поволжье. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. С. 3-20.

7. *Дедков А.П.* Верхнее плато Восточно-Европейской равнины // Геоморфология. 1993. № 4. С. 82-89.

8. *Дедков А.П.*, *Двинских А.П.* Структурно-литологический фактор в формировании рельефа на востоке Русской равнины // Известия вузов. Сер. Геология и разведка. 1995. № 1. С. 9-15.

9. *Дедков А.П.*, *Егорова В.Н.*, *Новикова И.И.* Денудационный рельеф в конгломератах на востоке Русской равнины // Экзогенные процессы и эволюция рельефа. Казань: Изд-во Казан ун-та, 1983. С. 89-111.

10. *Дедков А.П.*, *Мозжерин В.В.* Новые данные о генезисе и возрасте нижнего плато Приволжской возвышенности // Геоморфология. 2000. № 1. С. 56-61.

11. *Дедков А.П.*, *Мозжерин В.И.*, *Ступишин А.В.*, *Трофимов А.М.* Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. 224 с.

12. *Дедков А.П.*, *Тимофеев Д.А.*, *Мозжерин В.В.*, *Спасская И.И.* Реликты климатов геологического прошлого в рельефе Евразии // Геоморфология. 2003. № 1. С. 9-15.

13. *Кротов П.И.* Вятский Увал // Землеведение. 1894. Кн. 3. С. 1-6.

14. *Обедиентова Г.В.* Происхождение Жигулевской возвышенности и развитие её рельефа // Труды Ин-та географии АН СССР. 1953. Т. 58. Вып. 8. С. 74-85.

15. *Обедиентова Г.В.* О происхождении и возрасте поверхностей выравнивания в бассейне Средней Волги / Вопросы палеографии и геоморфологии бассейнов Волги и Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 81-94.

16. *Павлов А.П.* Самарская Лука и Жигули // Труды геологического комитета. 1887. Т. 2. № 5. С. 89-97.

17. *Рождественский А.П.* О связи некоторых излучин Волги с местной тектоникой // ДАН СССР. 1953. Т. 90, № 3. С. 457-459.

18. *Селивановский Б.В.* О геоморфологической выраженности тектонических форм в центральной части Волжско-Камского края // Ученые записки Казан. ун-та. 1952. Т. 112, кн. 8. С. 79-91.

19. Средняя Волга: геоморфологический путеводитель / под ред. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. 148 с.

ДВИНСКИХ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии и картографии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (ggf@mail.ru).

DVINSKIKH ALEXANDER PETROVICH – candidate of geographical sciences, senior teacher of the Department of Geography and Cartography, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan.

МОЗЖЕРИН ВАДИМ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (vadim_mozzherin@mail.ru).

MOZZHERIN VADIM VLADIMIROVICH – candidate of geographical sciences, assistant professor of the Department of Landscape Ecology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan.

УДК 551.433 (470.4)
ББК 26.8 – Географические науки

А.П. ДВИНСКИХ, И.А. РЫСАЕВА

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА ВОСТОКЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Ключевые слова: *сток наносов, эрозия, литолого-стратиграфические комплексы, антропогенный фактор эрозии, речные бассейны, восток Русской равнины.*

Авторами выделены и описаны 7 литолого-стратиграфических комплексов горных пород на территории востока Русской равнины. Выявлена зависимость стока взвешенных наносов от площади речного бассейна. Кроме того, авторами учтен антропогенный фактор эрозии, проявление которого, как было установлено, наблюдается в усилении литологической избирательности проявления эрозии и увеличении стока взвешенных наносов.

A.P. DVINSKIKH, I.A. RYSAEVA

LITOLOGIC CONDITIONALITY OF THE DRAIN OF THE WEIGHED DEPOSITS IN THE EAST OF EAST EUROPEAN PLAIN

Key words: *drain of deposits, erosion, litologo-stratigrafic complexes, anthropogenous factor of an erosion, river pools, East of East European Plain.*

In this article authors allocated and described 7 litologo-stratigrafic complexes of rocks in the territory of the East of East European Plain. Dependence of a drain of the weighed deposits on the area of the river pool is revealed. Besides, authors considered an anthropogenous factor of the erosion, which manifestation as it was established, is observed in strengthening of litologic selectivity of manifestation of an erosion and increase in a drain of the weighed deposits.

Интенсивность эрозии в значительной степени определяется противоэрозионной устойчивостью горных пород, слагающих речной бассейн, поэтому метод определения интенсивности эрозии по объему транспортируемого реками материала является одним из наиболее объективных [5]. Твердый сток напрямую зависит от интенсивности эрозионных процессов в русле реки, на ее водосборе и может быть использован для сравнения этих процессов в различных по составу горных породах. Вся толща осадочных пород нами была разделена на семь литолого-стратиграфических комплексов, отличающихся механическими и физико-химическими свойствами.

Для анализа устойчивости комплексов пород к процессам эрозии были использованы данные о стоке взвешенных наносов по 107 гидропостам, расположенным на востоке Русской равнины [4]. Было определено геологическое строение речного бассейна, лежащего выше замыкающего створа. Изучение проводилось по геологическим картам масштаба 1: 1 500 000 и крупнее. В геологическом отношении бассейн считался однородным, если 75% его площади занято выходами пород определенного литолого-стратиграфического комплекса. Данные о стоке взвешенных наносов по комплексам горных пород приведены в табл. 1. Из общего количества было исключено 15 пунктов-гидропостов, расположенных непосредственно на р. Волга и р. Кама, являющихся транзитными по отношению к исследуемому региону.

Среди коренных пород наибольшей величиной стока наносов выделяются юрско-нижнемеловой и пермско-нижнетриасовый (соответственно 118, 8 и 79,6 т/км^2 в год) комплексы пород. Они содержат много глин, обладающих слабой водопроницаемостью и усиливающих поверхностный жидкий сток. В бассейнах р. Выла и р. Була, сложенных породами юрско-нижнемелового возраста, зафиксирован самый большой сток взвешенных наносов на востоке Русской равнины – 540 и 530 т/км^2 в год.

Таблица 1

Абсолютная высота водоразделов (м), сток взвешенных наносов (т/км^2 в год) и количество элементарных бассейнов в различных литолого-стратиграфических комплексах пород

Литолого-стратиграфические комплексы пород	Количество элементарных бассейнов	Высота водоразделов	Средний модуль стока наносов
Карбонатно-сульфатный карбон-пермский	15	260	48,7
Глинисто-карбонатный пермско-нижнетриасовый	40	214	79,6
Песчано-глинистый юрско-нижнемеловой	14	203	118,8
Карбонатный верхнемеловой	5	236	59,2
Песчано-кремнистый палеогеновый	11	287	47,4
Песчано-глинистый плиоцен-четвертичный	12	144	76,6
Песчаный четвертичный	10	86	12,5

Самая малая величина стока взвешенных наносов характерна для палеогенового (47, 4 т/км^2 в год) и карбон-пермского (48,7 т/км^2 в год) комплексов пород, которые являются наиболее устойчивыми к проявлениям водной эрозии. Кварцевые пески и обломки сливных песчаников, кремнистые опоки палеогена, будучи предварительно отмытыми, транспортируются, в основном, в виде влекомых наносов. Они выдерживают транспортировку водными потоками на весьма значительные расстояния. Известняки, доломиты, гипсы верхнего карбона и перми отличаются высокой твёрдостью, монолитностью и не формируют большого количества взвесей [1]. Хорошая водопроницаемость трещиноватых карбонатно-сульфатных пород способствует поглощению части поверхностного жидкого стока.

Верхнемеловой комплекс занимает промежуточное положение и в целом не дает большого количества взвешенного материала (59,2 т/км^2 в год). Белый писчий мел, являющийся основной образующей комплекс породой, первоначально дает много тонких частиц, которые легко истираются и быстро переходят в раствор.

Среди рыхлых отложений наибольшим модулем стока взвешенных наносов отличается объединенный песчано-глинистый плиоцен-четвертичный комплекс (76,6 т/км^2 в год). Отличаясь средней водопроницательностью, породы этого комплекса весьма неустойчивы к водной эрозии, особенно в условиях влажного климата. Четвертичные пески благодаря своим фильтрационным свойствам формируют самый минимальный сток наносов (12,5 т/км^2 в год), так как переводят часть поверхностного жидкого стока в подземный.

Величина стока взвешенных наносов существенно изменяется в зависимости от площади речного бассейна. В выделенных комплексах пород малые водотоки (с площадью бассейна менее 5000 км^2) по стоку наносов значительно превосходят крупные реки (табл. 2). Подавляющее большинство изученных речных бассейнов востока Русской равнины отличается средней и высокой степенью антропогенного изменения ландшафтов и относится, соответственно, ко II (залесенность для бассейнов лесных зон или распаханность для степных составляет 30-70%) и III (залесенность менее 30% и распаханнность более 70%) категориям освоенности. Малые реки, в отличие от крупных, наиболее чутко реагируют на антропогенные изменения ландшафтов в их бассейнах, где интенсивное развитие получает бассейновая эрозия. По мере продвижения бассейновых наносов во время половодий и паводков ко все более крупным артериям часть их оседает на поймах, и модули стока наносов вниз по течению закономерно уменьшаются. У крупных рек они значительно меньше, чем у малых. При III категории освоенности речных бассейнов более 80% наносов имеет «бассейновое происхождение» [4].

Таблица 2

Изменение стока взвешенных наносов (т/км^2 в год) рек в зависимости от площади водосборного бассейна в различных литолого-стратиграфических комплексах пород

Литолого-стратиграфические комплексы пород	Средний модуль стока наносов	
	<5000 км^2	>5000 км^2
Карбонатно-сульфатный карбон-пермский	48,7	–
Глинисто-карбонатный пермско-нижнетриасовый	113,2	17,2
Песчано-глинистый юрско-нижнемеловой	205	45,4
Карбонатный верхнемеловой	66,8	–
Песчано-кремнистый палеогеновый	49,2	39,0
Песчано-глинистый плиоцен-четвертичный	98,4	11,2
Песчаный четвертичный	14,5	7,8

Выявленная выше последовательность противоэрозионной устойчивости комплексов пород хорошо прослеживается также и при рассмотрении речных бассейнов с различной степенью хозяйственного освоения (рисунок).

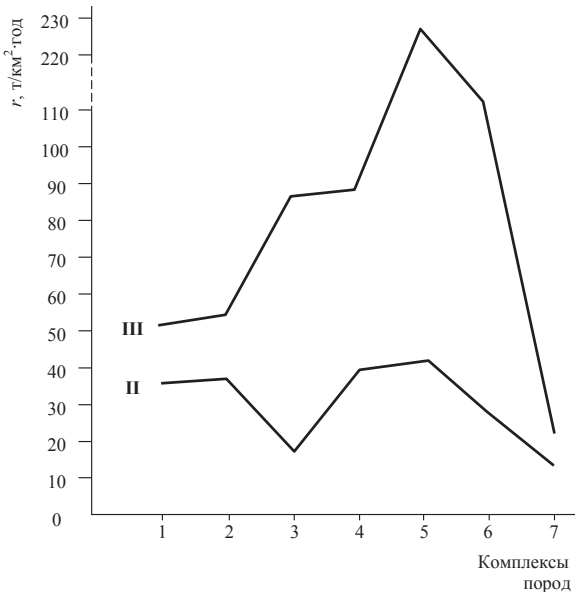


График зависимости величины стока взвешенных наносов от состава пород при различной степени хозяйственной освоенности речных бассейнов.

Комплексы пород:
1 – песчано-кремнистый палеогеновый;
2 – карбонатно-сульфатный карбон-пермский;
3 – карбонатный верхнемеловой;
4 – глинисто-карбонатный верхнепермско-нижнетриасовый;
5 – песчано-глинистый юрско-нижнемеловой;
6 – песчано-глинистый плиоцен-четвертичный;
7 – песчаный четвертичный

Антропогенный фактор эрозии, направленный на изменение естественных ландшафтов, в данном случае приводит не к изменению этой последовательности комплексов пород, а усилению литологической избирательности проявления эрозии и увеличению стока взвешенных наносов. Причем, чем устойчивее к эрозии комплекс пород, тем меньше вклад антропогенного фактора в увеличении стока наносов. Твердые известняки, доломиты и гипсы карбон-пермского возраста с трудом размываются как в условиях естественной среды, так и в антропогенно измененных ландшафтах. Эти породы при переходе речных бассейнов от II к III категории освоенности увеличивают в среднем сток в 1,4 раза, достигая в глинисто-песчаных отложениях верхнеюрско-нижнемелового комплекса максимальных различий в 5,3 раза.

На востоке Русской равнины с увеличением высоты водоразделов наблюдается уменьшение стока наносов и ослабление эрозии. Однако рельеф через высоту и крутизну склонов влияет на энергетику водных потоков, обуславливает и определяет их эродирующую способность. В зависимости от высоты все изученные речные бассейны были подразделены на водосборы низменностей и возвышенностей (табл. 3).

Таблица 3

Изменение стока взвешенных наносов в породах различных литолого-стратиграфических комплексов в зависимости от высоты рельефа

Литолого-стратиграфические комплексы пород	Низменности < 200		Возвышенности > 200	
	n	$\bar{r}$	***n***	$\bar{r}$
Карбонатно-сульфатный карбон-пермский	4	44,5	10	53,5
Песчано-глинистый верхнеюрско-нижнемеловой	8	107,6	6	133,6
Глинисто-карбонатный верхнепермско-нижнетриасовый	25	76,8	15	84,3

Наиболее полными и репрезентативными оказались ряды показателей для карбонатно-сульфатного карбон-пермского, глинисто-карбонатного пермско-нижнетриасового и песчано-глинистого юрско-нижнемелового комплексов пород. Данные показывают, что по стоку взвешенных наносов реки возвышенностей превосходят реки низменностей внутри каждого комплекса в 1,2 раза. Таким образом, самые высокие водоразделы на востоке Русской равнины сложены наиболее устойчивыми к процессам эрозии комплексами пород палеогенового, верхнемелового и карбон-пермского возраста [3]. Сток взвешенных наносов является функцией многих факторов. Его величина по мере убывания значимости зависит от литологического состава пород, типа рельефа, степени антропогенной изменённости ландшафта речного бассейна [2].

Литература

1. *Бутаков Г.П.*, *Дедков А.П.* Вятский Увал: основные черты геоморфологии и неотектоники / Геодинамика равнинного рельефа. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992. С. 41-70.

2. *Двинских А.П.* Эрозия и сток взвешенных наносов малых рек в бассейне р. Волги // География и туризм: современные проблемы и перспективы развития. 2010. № 1. С. 149-152.

3. *Дедков А.П.*, *Двинских А.П.* Структурно-литологический фактор в формировании рельефа на востоке Русской равнины // Известия вузов. Сер. Геология и разведка. 1995. № 1. С. 9-15.

4. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.

5. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.

ДВИНСКИХ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ. См. с. 102.

РЫСАЕВА ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА – ассистент кафедры географии и картографии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (rysira85@mail.ru).

RYSAEVA IRINA ANATOlYEVNA– assistant of the Department of Geography and Cartography, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan.

УДК 331.522
ББК 06.77.59, 06.77.64

Е.Н. ЖИТОВА

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕНСКОГО РЫНКА ТРУДА ЧУВАШИИ

Ключевые слова: *население, гендер, занятость, безработица, рынок труда, регион.*

Изучен региональный рынок труда женщин. Представлена группировка женского рынка труда на основе интегральных показателей, а также выявлены его региональные различия в Чувашской Республике.

E.N. ZHITOVA

FEATURE OF THE FUNCTIONING OF THE REGIONAL WOMEN'S LABOR MARKET

Key words: *population, gender, employment, unemployment, the labor market, region.*

We studied the regional labor market of women. We have carried out grouping of female labor market on the basis of integrated indicators and also identified regional differences in women's work in the Chuvash Republic.

Рынок труда женщин в общетеоретическом плане представляет собой систему социально-экономических, трудовых и правовых отношений, формирующуюся в результате привлечения специфической женской рабочей силы в общественно полезную деятельность, в процессе функционирования которой формируются спрос, предложение и цена данного товара.

Особенностями функционирования и развития любого рынка труда являются товар, его особенности и характеристики. Женская рабочая сила имеет ряд специфических характеристик, которые влияют на продажу и покупку ее на рынке труда. В условиях капиталистического рынка предметом купли-продажы выступает не сам труд, а именно рабочая сила, т.е. способность человека к труду, совокупность физических и интеллектуальных сил, позволяющих ему трудиться.

Женский труд имеет определенную специфику и по многим параметрам отличается от мужского труда. Разные исследователи данной проблемы предлагают разные трактовки понятия женского труда. Следует заметить, что различия по полу в значительной мере закономерны и связаны с действием как субъективных, так и объективных факторов. При этом не стоит забывать, что деление на женские и неженские профессии носит субъективный характер. Кроме того, на содержание женского труда существенное влияние оказывает уровень развития производительных сил. Чем более совершенны техника и технология, тем больше мест приложения женского труда. И каждая историческая эпоха предъявляет свои требования для привлечения женского туда в общественно значимых сферах деятельности.

Рассматривая женский труд в рыночной экономике России, и в Чувашии в частности, следует учитывать произошедшие изменения форм собственности, развития предпринимательства, снижение значимости социальной защиты женщин и ее семьи. Все это обостряет существующие противоречия в отношениях субъектов рынка труда различного уровня. Женщина находится в постоянном противоречии в плане реализации своих способностей на рынке труда, так как ей приходится трудиться в двух сферах – производственной и бытовой, что может приводить к снижению эффективности женского труда и экономики страны в целом. Необходимо стремиться к разрешению существующих противоречий в женском труде и учитывать их при формировании социально-экономической политики по отношению к женщинам.

Основными методами анализа женского рынка труда Чувашии послужили ранжирование и типизация по комплексу показателей [1. С. 154]. Изучение рынка труда женщин проводилось путем расчета интегрального показателя женского рынка труда, который складывался как среднее значение частных показателей. В качестве показателей, характеризующих женский рынок труда, применялись такие показатели, как удельный

вес женщин в числе зарегистрированных безработных, уровень женской зарегистрированной безработицы, средняя продолжительность женской безработицы [2. С. 215].

Данными для исследования регионального рынка труда женщин послужили выборочные обследования населения по проблемам занятости, результаты анкетирования, проводимые в 2002, 2007 и 2009 гг. на территории Чувашской Республики, и статистические данные.

На формирование предложений женского труда в экономике огромное влияние оказывает возрастно-половая структура населения. Соотношение мужчин и женщин в трудоспособном возрасте остается неизменным. Так, на 2011 г. в общей численности населения соответствующего пола доля мужчин трудоспособного возраста составляла 69,4%, доля женщин трудоспособного возраста была равна 57,7%. Уменьшение доли населения моложе трудоспособного возраста наблюдается как среди мужского населения, так и среди женского. Возрастает численность населения старше трудоспособного возраста с преобладанием в ней доли женщин. Возрастная структура населения Чувашской Республики становится неблагоприятной, доля детей становится меньше год от года, а доля стариков растет, что, естественно, неблагоприятно сказывается на демографической ситуации региона и на формировании трудового потенциала в будущем. Устойчиво формируется регрессивный тип возрастной структуры населения.

Территориальная дифференциация трудоспособных женщин на 2011 г. имела следующую характеристику. Первую группу формируют города и районы с высокими показателями доли женщин трудоспособного возраста (выше республиканских значений) – это Чебоксары (63,8%), Новочебоксарск (61,7%), Канаш (58,2%) и Чебоксарский район (58,3%). Высокие показатели доли женщин трудоспособного возраста объясняются не только благоприятным естественным движением населения в городах, но высокими показателями миграционного прироста населения. Вторую группу образуют города и районы республики, имеющие долю женщин трудоспособного возраста ниже среднереспубликанского показателя. Здесь доля женщин трудоспособного возраста составляет более 50% – это такие города, как Алатырь и Шумерля и районы: Вурнарский, Ибресинский, Канашский, Козловский, Комсомольский, Марпосадский, Моргаушский, Урмарский, Цивильский, Ядринский и Янтиковский. Третью группу образуют районы, где доля женщин трудоспособного возраста составляет менее 50%. Это районы с отрицательными показателями естественного и миграционного прироста.

Более половины в составе экономически активного населения Чувашии составляют мужчины, тогда как в общей численности населения старше 15 лет преобладают женщины. Это свидетельствует о низкой экономической активности женщин, что связано с выполнением ими репродуктивной функции.

Состав безработных по полу в республике в 2011 г. характеризовался превышением численности мужчин над женщинами, их было 37,8 тыс. (8,1% общей численности экономически активных мужчин), а численность женщин – 25,2 тыс. (4,8% общей численности экономически активных женщин). Общая численность безработных женщин Чувашии в период с 2002 г. по 2007 г уменьшалась, достигнув минимального значения в 2007 г. (19,4 тыс.), затем наблюдалось ее увеличение до 2009 г. В 2011 г. численность безработных женщин составила 25,2 тыс. Изменение возрастного состава безработных женщин в последние годы характеризуется повышением доли женщин в молодом возрасте (16-20, 20-24, 25-29 лет) и старшем возрасте (после 50 лет). Уменьшение удельного веса женщин среди безработных происходит в возрасте 40-44 года. Увеличился и средний возраст безработных женщин с 33,5 года в 2002 г. до 35,6 года в 2011 г.

Территориальные различия в положении женщин на рынке труда выражены в дифференциации интегрального показателя женского рынка труда. На основе полученных результатов была проведена типология районов и городов Чувашии по ситуации на женском рынке труда:

1-я группа – условно благополучные районы, в которых показатели удельного веса женщин в числе зарегистрированных безработных, уровня женской зарегистрированной безработицы и средней продолжительности женской безработицы невысокие.

2-я группа – умеренно неблагополучные районы – значения показателей отражают более сложную ситуацию на рынке труда.

3-я группа – неблагополучные районы – территории, в которых отмечается напряженная ситуация на рынке труда, характеризующаяся высокими показателями продолжительности труда, уровня безработицы и др.

4-я группа – крайне неблагополучные районы – территории, отличающиеся крайними показателями, характеризующими критическую ситуацию на рынке женского труда Чувашии.

В группе условно благополучных районов можно выделить две подгруппы. К первой относятся районы на севере Чувашской Республики, расположенные вблизи столицы республики и автомагистрали федерального значения «М 7»: Чебоксарский и Ядринский районы. Достаточно низкий уровень безработицы в Чебоксарском районе объясняется высокой долей занятости женщин и прежде все на предприятиях г. Чебоксары и высокой концентрацией занятых женщин в торговле и пищевой промышленности в Ядринском районе. Вторая подгруппа представлена Марпосадским, Козловским и Урмарским районами. Для них характерно расположение на северо-востоке республики. В этих районах низкий уровень безработицы связан с высокой долей занятости женщин в сельском хозяйстве.

Группа умеренно неблагополучных районов также разделена на две подгруппы. К первой относятся Порецкий и Ибресинский районы, расположенные на юго-западе республики, находящиеся достаточно далеко от столицы республики. В районах невысокий показатель женской безработицы, но наблюдается значительное увеличение ее продолжительности. Специализациями районов являются сельское хозяйство и лесное хозяйство. Ко второй подгруппе относятся районы, расположенные вблизи городов республиканского значения: г. Чебоксары – Моргаушский район и г. Канаш – Янтиковский район. Эти районы характеризуются увеличением доли безработных женщин в численности безработного населения. Особо можно выделить город Чебоксары, имеющий средние показатели женской безработицы, уровня женской зарегистрированной безработицы и ее продолжительности.

Наиболее многочисленной является группа неблагополучных районов, в которую входят 10 районов Чувашии, г. Канаш и г. Новочебоксарск, находящиеся по большой части в центре республики. Это Красночетайский, Аликовский, Красноармейский, Цивильский, Шумерлинский, Вурнарский, Канашский, Комсомольский, Батыревский и Яльчикский районы. Для них характерно значительное увеличение доли безработных женщин и продолжительности женской безработицы.

Наиболее малочисленной является группа крайне неблагополучных районов, в которую входят Алатырский, Шемуршинский районы и г. Алатырь. Для г. Алатырь и Алатырского района характерны существенное снижение промышленного производства и, как следствие, снижение уровня занятости, сопровождающееся ростом безработицы. Для второго, самого южного, района, наиболее удаленного от столицы республики, характерны слабое развитие сельского хозяйства, обусловленное объективными факторами (высока доля земель лесного фонда), фактическое отсутствие предприятий обрабатывающей промышленности.

Исходя из составленной типологии женского рынка труда Чувашии четко прослеживается территориальная дифференциация функционирования рынка труда, где выделяются благополучный север, неблагополучный центр и кризисный юг. Благополучие рынка труда женщин находится в прямой зависимости от регионального уровня экономического и социального развития.

Литература

1. *Мезенцева Н.И.* Гендерная география в Украине // Географические науки в обеспечении стратегии устойчивого развития в условиях глобализации: материалы Междун. науч.-практ. конф. Минск: Изд-во БГУ, 2012. С. 154-156.

2. *Рощин С.Ю.* Женщины в сфере занятости и на рынке труда в российской экономике (эмпирические исследования гендерных различий трудового поведения на основе данных РМЭЗ) // Гендер и экономика: мировой опыт и экспертиза российской практики. М.: ИСПЭН РАН-МЦГИ; «Русская панорама», 2002. С. 212-234.

ЖИТОВА ЕКАТЕРИНА НИКОЛАЕВНА – старший преподаватель кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (obakova_80@mail.ru).

ZHITOVA EKATERINA NICOLAEVNA – senior teacher of Economic and Social Geography Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 316.334.55.(470.344)
ББК +С546.22

Е.Н. ЖИТОВА, Н.А. КАЗАКОВ, У.В. ЮМАНОВА

СОЦИАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКИХ ОБЩЕСТВ ЧУВАШИИ*

Ключевые слова: *устойчивое развитие, устойчивость, социальная устойчивость, этноконфессиональные конфликты, гендерное неравенство, социально-экономическая стратификация.*

Современная социально-политическая устойчивость сельских обществ Чувашской Республики – это следствие отсутствия явно выраженных этноконфессиональных конфликтов, восприятия гендерного неравенства как естественного явления, завышения людьми своего положения в социально-экономической стратификационной структуре общества при самоидентификации (сравнительно благополучного социального самочувствия).

E.N. ZHITOVA, N.A. KAZAKOV, U.V. YUMANOVA

SOCIAL STABILITY OF RURAL SOCIETY OF CHUVASHIA

Key words: *sustainable development, sustainability, social sustainability, ethnoreligious conflicts, gender inequality, socio-economic stratification.*

Modern social and political stability of rural communities of the Chuvash Republic – a consequence of the lack of explicit ethnoreligious conflicts, the perception of gender inequality as a natural phenomenon, overestimate of the people their position in the socio-economic stratification structure of society with self-identification (relatively prosperous social well-being).

Цель исследования. Уже не одно десятилетие человеческое общество стремится следовать концепции устойчивого развития. Для реализации концепции устойчивого развития сельских территорий в первую очередь необходимо изучить угрозы устойчивости сельских обществ, осознать их силу, степень опасности.

Методы и результаты исследования. Под устойчивостью можно понимать способность социума противостоять опасным (разрушающим, гибельным) возмущающим воздействиям (по возможности предупреждать их), восстанавливать (сохранять) равновесие для продолжения движения (развития). Одно из слагаемых устойчивости социума является социальная устойчивость. Социальная устойчивость проявляется в устойчивости общества в отношении угроз межэтнических, межконфессиональных, гендерных, социальных, политических и других конфликтов.

В рамках исследования условий устойчивого развития сельских территорий Чувашии с целью определить степень опасности возникновения межэтнических и межконфессиональных конфликтов в обществе респондентам были заданы следующие «закрытые» вопросы: «ваше отношение к своей национальности и этнической принадлежности

* Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 12-16-21603).

окружающих людей» и «как вы относитесь к представителям других религий, окружающих вас». Ответы, данные на эти вопросы, показывают, что из числа опрошенных жителей муниципальных районов республики абсолютное большинство (81,3%) обладает нормальной этнической идентичностью, при которой образ своего народа воспринимается как положительный, имеет место благоприятное отношение к его культуре, истории, при этом присутствует уважительное отношение к этнической принадлежности других людей. Около 12,5% опрошенных безразличны как к собственной национальности, так и к национальностям окружающих их людей. То есть обладают этнической индифферентностью или амбивалентной этничностью (явно невыраженной этнической идентичностью), широко распространённой в смешанной этнической среде, которая характерна для многих сельских территорий Чувашии, где часто вместе проживают представители нескольких национальностей (русские, чуваши, марийцы, мордва, татары). И только у 6,2% респондентов выявлено некритическое предпочтение своей этнической общности (элементы этноцентрической и этнодоминирующей идентичностей). В подавляющем большинстве районов Чувашии жителей, обладающих этноцентрической и этнодоминирующей идентичностью, не более 5%, но в Канашском, Вурнарском, Цивильском районах их доля существенно выше. Особенно выделяется Канашский район, в котором 40% жителей сельской местности считают, как минимум, что народ, к которому они принадлежат, превосходит окружающие его народы по своей культуре.

Большинство опрошенных (95%) заявили о своей принадлежности к той или иной религиозной культуре (5% об атеизме). Но особого религиозного рвения среди респондентов не обнаружено, 87,5% из них места богослужения посещают только по праздникам или довольно редко, время от времени, по мере необходимости. Сельские жители республики, в основном, готовы терпимо относиться к «иноверцам», если они не будут навязывать окружающим свою религию или проявлять свою религиозную принадлежность (67,5% опрошенных), а 30% вообще безразличны религиозная принадлежность и культура окружающих людей. Лишь 2,6% испытывают страх перед иноверцами и считают их изгнание необходимым. Особенно велика их доля в Вурнарском районе (около 10%). Но никто из опрошенных не заявил о стремлении к прозелитизму.

Можно заключить, что вспышка межэтнических и межконфессиональных конфликтов в сельской местности Чувашии в целом маловероятна, но исключить данную угрозу социальной устойчивости сельских обществ нельзя, особенно в Канашском и Вурнарском районах.

При исследовании устойчивости сельских обществ Чувашии в отношении гендерных конфликтов наибольшее значение имеет оценка проблем, исходящих из экономической сферы – гендерного неравенства возможностей на рынке труда.

Безработица в равной мере характерна как для мужчин, так и женщин. Однако уровень безработицы мужчин в республике выше, 8,9% против 6,3% у женщин. Безработные мужчины составляют 62,2% от числа безработных в сельской местности. Мужчины в сельской местности имеют неформальную занятость, тогда как женщины согласны работать за меньшую зарплату и на менее престижной работе, но с постоянным заработком.

Заработная плата выступает важнейшим показателем гендерного неравенства мужчин и женщин на рынке труда. Отношение заработной платы женщин к заработной плате мужчин имеет довольно устойчивое положение и колеблется на уровне 70-75%, а в некоторых отраслях еще меньше. В самом невыгодном положении оказались именно те отрасли, где в числе занятых преобладают женщины, – текстильная, швейная, пищевая и др., а также отрасли социальной сферы. Средняя заработная плата здесь составляет 40-60% от средней заработной платы по республике. Занятость населения в сельском хозяйстве также предполагает низкий уровень заработной платы – 57,3% к среднереспубликанскому уровню среднемесячной заработной платы. Заработная плата в сельских районах республики, как правило, невысока в сравнении с городами республиканского значения и районами, прилегающими к ним. Исключе-

нием является лишь Красноармейский район, расположенная здесь газокомпрессорная станция оказывает существенное влияние на величину заработной платы.

Гендерный анализ уровня заработной платы по результатам анкетирования выявил, что среднее значение заработной платы мужчин значительно выше средней заработной платы женщин. Так, показатель отношения средней заработной платы женщин к средней заработной плате мужчин (индекс равенства возможностей при оплате труда) выявил районы с гендерным дисбалансом в оплате труда: Красночетайский, Канашский, Цивильский, Аликовский, Комсомольский, Ядринский, Батыревский и Яльчикский. Это районы, где индекс превышает единицу (от 1,1 в Яльчикском районе до 1,9 в Красночетайском), что свидетельствует об ущемлении женщин при оплате труда и о том, что профессиональная сегрегация весьма значительна.

Таким образом, в Чувашской Республике наблюдается гендерный разрыв в заработной плате мужчин и женщин. При схожем уровне экономической активности мужчин и женщин и близком типе трудовой активности женщины получают в среднем меньшую заработную плату. Разница заработной платы мужчин и женщин может объясняться неравным распределением мужчин и женщин по отдельным отраслям и профессиям (горизонтальная сегрегация) и низкой рыночной оценкой работы, которой занимаются женщины.

Горизонтальная сегрегация проявляется в асимметричном распределении мужчин и женщин в различных отраслях. Существуют отрасли, стереотипно воспринимаемые как «женские» или «мужские». Отрасли, где доля женщин меньше 33%, считаются «мужскими», а те, где доля женщин больше 66%, – «женскими». Оставшиеся отрасли выделяются в третью категорию – промежуточные отрасли [1. С. 212]. «Мужскими» отраслями в Чувашии можно считать лесное хозяйство (доля женщин составляет 19,1%), строительство (доля женщин составляет 13,5%), транспорт и связь (доля женщин составляет 28,1%). Концентрация женщин наблюдается в здравоохранении, культуре и искусстве, социальном обеспечении, торговле и сбыте (доля женщин составляет 66,1%), образовании (доля женщин равна 65,8%), ЖКХ (доля женщин составляет 72,0%). Остальные отрасли, такие как: промышленность, сельское хозяйство, финансы, кредит, страхование, непроизводственные виды бытового обслуживания населения, наука и научное обслуживание относятся к промежуточным отраслям. В этих отраслях доля женщин колеблется от 60 до 65%. Основными отраслями приложения мужского труда в сельской местности являются строительство (27,8%), сельское хозяйство (14,4%) и транспорт (11,3%) по результатам опроса среди занятых мужчин. Женский труд сосредоточен главным образом в торговле (21,4%), образовании (19,0%), сельском хозяйстве (16,7%) и здравоохранении (13,1%).

Для измерения отраслевой сегрегации нами был использован индекс диссимиляции Дункана (ID), который показывает, какой процент мужчин и женщин должен сменить место работы для того, чтобы они были равномерно представлены в каждой отрасли [2. С. 34]. Расчет индекса Дункана позволил выявить территориальные различия уровня отраслевой сегрегации по районам Чувашской Республики и сделать следующий вывод. Районные сопоставления индекса Дункана свидетельствуют о том, что гендерная отраслевая сегрегация наименее выражена в районах, расположенных вблизи столицы республики: Чебоксарский, Цивильский районы. Оставшиеся сельские районы имеют высокие значения индекса отраслевой сегрегации.

Развитие в рыночной экономике частного сектора привело к отвержению женского труда как невыгодной рабочей силы. Женщина становится невыгодным товаром на рынке труда, так как является дорогостоящим и менее надежным (по сравнению с мужчиной) работником. Рыночная экономика разделяет рынок труда на два сектора: первый – новый, рыночный, «мужской», престижный и высокооплачиваемый, другой – традиционный государственный, «женский» с сохраняющимся внешне высоким статусом социальных занятий, но низкой оплатой труда.

При схожем уровне экономической активности мужчин и женщин и близком типе трудовой активности на протяжении жизненного цикла женщины продолжают получать в среднем меньшую заработную плату. То есть для устранения гендерного неравенства недостаточно обеспечить одинаковое участие мужчин и женщин в трудовой деятельности. Следует изменить структуру спроса на рынке труда, практику найма и продвижения персонала, повысить значимость и престижность занимаемых женщинами должностей.

Социально-экономическая устойчивость общества на любой территории проявляется также в особенностях его расслоения на основе распределения «жизненных возможностей» и «экономических преимуществ» страт и слоев. Исследования показывают значительную социально-экономическую стратификацию сельского населения республики. Большинство сельчан (45%) относится к группе малообеспеченных с доходами от 1 до 2 прожиточных минимумов (ПМ), балансирующих на уровне бедности. Доля бедного сельского населения (с доходами ниже ПМ) на сегодняшний день составляет около 31%. Однако лишь треть населения с доходами ниже ПМ идентифицируют себя как «бедных», а половина из них определяет себя лишь как «малообеспеченные». Еще одну важную группу составляют среднеобеспеченные, доходы которых выше минимального потребительского бюджета (от 2 до 7 ПМ) – 15%. Одной из основных социальных проблем региона является наличие нищих с доходами ниже половины ПМ (около 1%).

Уровень устойчивости стратификационной структуры сельского населения региона подкрепляется также самооценкой своего уровня обеспеченности денежными доходами. Половине респондентов с низкими доходами на уровне или ниже одного прожиточного минимума денег достаточно только для приобретения необходимых продуктов и одежды, а на крупные покупки приходится откладывать. Еще 20% населения откладывать не из чего. У четверти населения не вызывает трудностей даже покупка бытовой техники. К полярным группам населения, с одной стороны не испытывающим никаких проблем в покупке квартиры или машины, а с другой – находящимся в нищете и вынужденным жить в долг, относятся по 3% селян. Таким образом, можно констатировать, что значительная часть населения стабилизировала свой уровень жизни на низких позициях.

Социальное самочувствие населения проявляется в процессе самоидентификации в системе социально-экономической стратификационной структуры общества. Более половины респондентов (52%) относит себя к среднеобеспеченному классу, но при этом имеет доходы на уровне бедных. Около 3,5% населения, как правило, мужчины молодого и среднего возраста со средним или начальным профессиональным образованием, с доходами от одного до четырех ПМ, считают себя состоятельными. Незначительная группа (1,8%), преимущественно женщины среднего и старшего возраста со средним специальным или высшим образованием, относит себя к бедному населению (наиболее образованные слои общества все чаще считают себя малоимущими). В этом выявляется основное несоответствие самооценки: доходы населения в целом на одну-две позиции ниже, чем реальный социально-экономический класс общества в общепринятой системе стратификации.

Уровень обеспеченности сельских жителей в целом соответствует стилю и образу их жизни. Большинство опрошенных имеют в собственности частный дом (67%), чаще всего представляющий собой так называемое «родовое гнездо», полученное по наследству. Кроме того, порядка 12% сельчан имеют в собственности квартиру и 7% – дачу, традиционно значимые для горожан виды недвижимости. Наличие легкового автомобиля отметили треть опрошенных, но более важный вид техники – сельскохозяйственной – только 12%. Незначительна доля сельчан, обеспеченных капитальными теплицами (около 6%) и современными гаджетами (11%). Статистически имущественная обеспеченность выше у мужчин среднего возраста со средним профессиональным образованием, занятых в промышленности и сельском хозяйстве.

На основе индикаторов, характеризующих процессы социальной стратификации (доходов населения, уровня удовлетворенности ими, наличия разнообразных видов собственности и денежных сбережений, самоопределения в системе социально-

экономической стратификации общества и др.), был рассчитан комплексный показатель уровня социальной устойчивости сельского населения региона. По этому показателю районы республики делятся на «наименее устойчивые», «среднеустойчивые» и «наиболее устойчивые». К первой категории относятся районы с низкими показателями доходов и собственности центральной широтной линии республики. Среднеустойчивые районы сгруппированы по центральной меридиональной линии Чувашии. Наиболее устойчивые районы находятся в центре республики.

Несмотря на проявление в сельской местности Чувашии гендерного неравенства, высочайшую долю среди сельского населения бедных и малообеспеченных, готовность вести политическую борьбу проявляют немногие. На вопрос об «отношении к волне антиправительственных выступлений, прокатившейся по стране в период и после выборов в Государственную Думу и президента России», большинство респондентов (66,2%) ответили, что они не разделяют мнения выступающих против правительства (хотя треть из них считает, что действия «оппозиции» полезны обществу). Разделили мнение «оппозиционеров» 33,8% опрошенных, но лишь 6,9% респондентов готовы к участию в антиправительственных действиях. В Вурнарском, Цивильском районах действия оппозиции поддержало около половины опрошенных, в Янтиковском – 60%, Канашском – 70%. Наибольшая доля желающих участвовать в антиправительственных акциях (организовывать их) зарегистрирована в Вурнарском и Канашском муниципальных районах – 30% (20%) и 40% (20%), соответственно. Можно констатировать, что угрозы устойчивости сельских обществ со стороны политической сферы жизни в настоящее время в подавляющем числе муниципальных районов республики не очень значительны. Исключение составляют Вурнарский и Канашский районы, где доля недовольных правительством и, что более важно, готовых к антиправительственным действиям достаточно высока.

Выводы. Относительная политическая, социальная устойчивость сельских обществ в республике связана с отсутствием явно выраженных этноконфессиональных конфликтов, восприятием гендерного неравенства как естественного явления, завышением людьми своего положения в социально-экономической стратификационной структуре общества при самоидентификации, т.е. сравнительно благополучным социальным самочувствием.

Литература

1. *Рощин С.Ю.* Женщины в сфере занятости и на рынке труда в российской экономике (эмпирические исследования гендерных различий трудового поведения на основе данных РМЭЗ). // Гендер и экономика: мировой опыт и экспертиза российской практики. М.: ИСПЭН РАН-МЦГИ; «Русская панорама», 2002. С. 212-234.

2. *Рощин С.Ю.* Занятость женщин в переходной экономике России. М.: ТЕИС, 1996. С. 113.

ЖИТОВА ЕКАТЕРИНА НИКОЛАЕВНА. См. с. 109.

КАЗАКОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат географических наук, заведующий кафедрой экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (kzkv75@mail.ru).

KAZAKOV NIKOLAI ALEKSANDROVICH – candidate of geographical sciences, head of Economic and Social Geography Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЮМАНОВА УЛЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА – кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (yumanova@mail.ru).

YUMANOVA ULYANA VALERYEVNA – candidate of geographical sciences, assistant professor of Economic and Social Geography Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 504.4 574.6 543.31
ББК 28.08

Т.Г. КОНСТАНТИНОВА, Л.В. ВАСИЛЬЕВА

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МАЛОЙ РЕКИ КУКШУМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: *малая река Кукшум, экологический мониторинг, гидрохимические показатели, антропогенная нагрузка.*

Изучена пространственная динамика изменения содержания загрязняющих веществ и общих показателей качества воды малой реки Кукшум в различные сезоны года в условиях антропогенного воздействия. Показано, что малая река Кукшум на территории города Чебоксары и вне его испытывает совершенно разную антропогенную нагрузку в зависимости от гидрологического режима реки и сбросов сточных вод.

T.G. KONSTANTINOVA, L.V. VASILYEVA

ENVIRONMENTAL MONITORING OF SMALL RIVER KUKSHUM IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENOUS IMPACT

Key words: *small river Kukshum, environmental monitoring, hydrochemical indicators, anthropogenic load.*

The spatial dynamics of pollutants' modification content and the general indicators of the Kukshum water during different seasons of the year in the context of anthropogenic effect have been studied. It has been shown that the small river Kukshum is stressed both inside of the Cheboksary town and outside of it because of the river hydrological regime and the dumping of aqueous water.

Малые реки являются наиболее многочисленными водотоками любого бассейна, на их долю приходится значительная часть поверхностного стока России, в их бассейнах проживает до 44% всего городского населения и почти 90% сельского.

Главной особенностью формирования стока малых рек является их связь с физико-географическими условиями бассейна. Гидрохимический режим водотоков определяется комплексным влиянием следующих основных факторов: природным составом вод, условиями разбавления и качественным составом сточных вод, их объемом и режимом поступления.

Природный состав речных вод формируется под воздействием климатических и азональных факторов. Климат оказывает прямое воздействие на химический состав природных вод через осадки и испарения и косвенное – через почву, растительность и рельеф [1]. Азональные факторы являются основными при формировании качественного состава вод малых рек. Местные условия формирования стока определяют состав наносов, растворенных веществ различной природы, биологических компонентов, а также потока тепла и энергии, которые фиксируются в русловой сети [14].

Интенсивная хозяйственная деятельность, осуществляемая в бассейнах малых рек, оказывает на них отрицательное воздействие. Оно проявляется в изменении величины и режима стока, нарушении гидрохимического режима, их заилении и обмелении, ухудшении качества воды [4].

Для малых рек характерна незначительная самоочищающая способность. Сложность и разнообразие процессов естественного самоочищения природных вод, их значимость и сущность обусловливаются как многообразием загрязняющих веществ, так и специфическими (физико-географическими условиями и др.) особенностями водотоков. Среди неблагоприятных факторов, влияющих на процессы самоочищения, особое значение имеет химическое загрязнение водоемов промышленными стоками, биогенными элементами (азотом, фосфором и др.), которое тормозит естественные окислительные процессы, убивает микроорганизмы. Скорость самоочищения водоёма и разложения углеродсодержащих соединений зависит от температуры, дос-

тупа кислорода, питательного режима водной среды, т.е. от тех факторов, которые определяют ее микробиологическую активность [11].

В городе Чебоксары хорошо развита сеть малых рек. Это – реки Чебоксарка с притоками Сугутка и Трусиха, Кайбулка, которые являются притоками первого порядка реки Волга, Малая Кувшинка и Шалмас – притоки реки Кукшум, которая впадает в р. Цивиль и является притоком второго порядка р. Волга. Малые реки г. Чебоксары, сток которых формируется в зависимости от ландшафтов водосборных бассейнов, весьма уязвимы как от чрезмерного использования водных ресурсов, так и от значительных хозяйственных нагрузок на их водосборах. Долины этих рек заняты частными жилыми секторами, коллективными садоводческими объединениями, гаражными формированиями и другими хозяйствующими субъектами.

Все малые реки города изучены слабо во всех отношениях. В настоящее время они больше напоминают водосточные каналы по приёмке и отводу поверхностных ливневых, дренажных, канализационных и сточных вод. Малые реки города Чебоксары относятся к категории грязные (5-й класс качества) и очень грязные (6-й класс качества) [12].

Самоочистительная способность ряда малых рек (р. Чебоксарка, р. Трусиха и др.), таких как Кукшум, к настоящему времени исчерпаны, и поступление в них дополнительного количества любых загрязняющих веществ приводит к полному разрушению экосистемы и транзитному поступлению загрязнений в крупные водоемы.

Сеть государственного экологического мониторинга, контролирующего сбросы загрязняющих веществ водопользователями, в настоящее время не всегда охватывает малые реки г. Чебоксары [8]. Имеющиеся сведения об их экологическом состоянии являются обрывочными и неполными [7, 12, 15].

В этой связи возрастает роль экологического мониторинга малых рек, позволяющего учитывать все особенности и изменения во времени и пространстве, присущие той или иной реке.

Целью исследования являлись изучение экологической характеристики малой реки Кукшум и выявление степени её загрязненности в условиях антропогенного воздействия.

Малая река Кукшум берет начало из родников пруда в коллективном саду севернее пос. Лапсары и впадает в р. Цивиль с левого берега на расстоянии 14,3 км от устья последней.

Бассейн р. Кукшум располагается в Верхневолжском бассейновом округе, который является хорошо освоенным в промышленном и сельскохозяйственном отношении. По физико-географическому положению р. Кукшум протекает по южной окраине г.Чебоксары и является левым притоком р. Большой Цивиль. По нисходящей классификации, ведущей отсчет от главного водотока, р. Кукшум в волжской речной системе является притоком третьего порядка. Длина водотока 38 км. Площадь водосбора составляет 166 км^2, продольный уклон до 0,746. Русло реки извилистое шириной 10-20 м, глубиной от 0,51 до 1,5 м, в меженные периоды до 0,3-0,5 м, скорости течения 1,2-1,8 м/с [5, 9]. Вдоль всей речной сети р. Кукшум широко развиты эрозионные формы рельефа. Экзогенные процессы и явления представлены линейной эрозией, подтоплением, заболачиванием и особенно оползнями. Водосборная площадь реки Кукшум представляет холмистую поверхность, изрезанную речной и овражно-балочной сетью.

Уровненный режим р. Кукшум (табл. 1) характеризуется четко выраженным весенним половодьем продолжительностью 15-20 дней, летне-осенней меженью, прерываемой дождевыми паводками и низкой зимней меженью. Подъемы уровней весной и в летние паводки составляют до 1,0 м [6].

В табл. 1 представлено внутригодовое распределение стока р. Кукшум по месяцам.

Основными видами антропогенного воздействия на бассейн р. Кукшум являются: множество населенных пунктов и техногенных объектов (в том числе и городская санкционированная свалка твердых бытовых отходов «Пихтулино») и сельскохозяйственная деятельность (пашни, животноводческие комплексы, овощные хозяйства).

Таблица 1

Внутригодовое распределение стока р. Кукшум по месяцам

Показатель	Месяц											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Средний сток, % от годового стока	1,2	1,0	2,7	73,6	9,1	3,0	1,9	1,3	1,0	1,7	2,1	1,4

В табл. 2 представлены основные источники негативного воздействия на р. Кукшум [15].

Таблица 2

Основные источники негативного воздействия на р. Кукшум

Источники	Негативное воздействие
ЗАО фирма «Чебоксарская керамика»	Сточные производственные и ливневые воды
Автотранспортные предприятия	Ливневые воды
Многоэтажный жилой комплекс	Ливневые воды
ОАО «Промтрактор»	Ливневые воды
Городская санкционированная свалка ТБО «Пихтулино»	Поверхностные и дренажные воды, фильтрат
Сельскохозяйственные угодья	Поверхностные воды
ЗАО «Агрофирма “Ольдеевская”»	Сточные и ливневые воды
ОАО «Химпром»	Сточные и ливневые воды

На протяжении г. Чебоксары русло р. Кукшум завалено свалками мусора, загрязняется выпусками ливневой канализации. Предприятия г. Чебоксары производят сброс неочищенных ливневых сточных вод в р. Кукшум. Всего в бассейне р. Кукшум и ее притока Малая Кувшинка расположено 12 выпусков поверхностных сточных вод. Поверхностный сток с городских территорий и с промышленных площадок, внося значительное количество загрязняющих веществ в водные объекты, вызывает их загрязнение и заиление. Основными загрязняющими компонентами дождевых и талых вод являются взвешенные вещества. Твердая фаза стока содержит большое количество органических примесей.

Городская свалка для г. Чебоксары и г. Новочебоксарск образована в начале 1960-х гг. у д. Пихтулино Чебоксарского района. Площадь свалки составляет более 30 га. Отходами засыпан ранее существующий овраг глубиной 10-15 м. Толщина слоя отходов в некоторых местах превышает 40 м. Расчетный срок эксплуатации свалки 20 лет – с 1964 по 1984 г. В настоящее время ресурс исчерпан, но эксплуатация её продолжается. Дальнейшая её эксплуатация негативно влияет на окружающую природную среду [10].

Пихтулинская свалка твердых бытовых и нетоксичных промышленных отходов не отвечает санитарным и экологическим требованиям, предъявляемым к объектам размещения ТБО как к современным инженерно-техническим сооружениям. Поверхностный сток в районе свалки не зарегулирован, свалка от водосборной площади кюветами не отделена, поэтому все дождевые и талые воды с водосборной территории, прилегающей к ней, попадают в тело свалки. В вершине оврага образовался бессточный пруд в результате подпора атмосферного стока отходами свалки, где аккумулируется фильтрат со свалки.

Фильтрат является наиболее опасным фактором воздействия объекта размещения отходов на окружающую среду. Он формируется в теле свалки при взаимодействии отходов с инфильтрующимися атмосферными осадками и содержит многочисленные компоненты распада органических и неорганических веществ и токсичные соединения.

В настоящее время фильтрат со свалки г. Чебоксары скапливается в пруду. Из пруда фильтрат сбрасывается в овраг по трубе и далее попадает в р. Кукшум.

Материалы и методы исследования. Для комплексной оценки уровня загрязненности и выявления районов повышенной антропогенной нагрузки малой реки Кукшум рассматривались следующие источники поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в водоем: ЗАО фирма «Чебоксарская керамика» – в верхнем течении реки; городская санкцио-

нированная свалка ТБО «Пихтулино» – в среднем течении реки; ЗАО «Агрофирма "Ольдеевская"» – в нижнем течении реки.

Материалом для исследования служили пробы воды и донных отложений, отобранные в местах отбора проб воды.

Отбор проб воды проводился в соответствии с нормативными требованиями в период весеннего половодья и период осенних дождевых паводков 2011-2012 гг. в 6 створах: выше и ниже сброса сточных вод перечисленных источников. Отбирали точечную пробу, характеризующую состав и свойства воды в данном месте водного объекта в данный момент времени путем однократного отбора всего требуемого количества воды [2].

Определялись основные гидрохимические и органолептические показатели качества воды (запах, водородный показатель (pH), взвешенные вещества, сульфаты, хлор-ион, растворенный кислород, ХПК, $БПК_{5,}$) и содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях р. Кукшум.

Результаты исследования. *Определение pH воды.* Одним из основных показателей гидрохимического режима рек, их трансформации под влиянием хозяйственной деятельности человека служит активная реакция среды (pH). Она определяется главным образом содержанием и соотношением карбонатов, бикарбонатов, углекислоты и органических кислот с учетом жизнедеятельности животных и растительных организмов.

Во все сезоны на всей протяженности реки в поверхностном слое значения pH колебались от нейтральной до слабощелочной (6,5-8,5).

Определение содержания растворенного кислорода. Потребление в воде кислорода связано с химическими и биохимическими процессами окисления органических и некоторых неорганических веществ (Fe^{2+}, Mn^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, H_2S, CH_4 и др.), а также с дыханием водных организмов. В поверхностных водах его содержание колеблется от 0 до 14 мг/дм^3 и подвержено значительным сезонным и суточным колебаниям. Дефицит кислорода чаще наблюдается в водоемах, содержащих большое количество загрязняющих и гумусовых веществ.

Проведенные исследования показали изменение содержания растворенного кислорода в воде реки Кукшум в различные периоды года. Чистая речная вода, взятая выше города (выше сброса сточных вод ЗАО фирма «Чебоксарская керамика») содержит всегда кислород в количестве (7-11 мг/дм^3), что близко соответствует растворимости этого газа сообразно температуре и парциальному давлению. При протекании через город (городская санкционированная свалка ТБО «Пихтулино») речная вода все более и более насыщается ЗВ, что приводит к постепенному убыванию содержания растворенного кислорода, расходующегося на окисление органических веществ. Наиболее низкая концентрация растворенного кислорода (6,11 мг/дм^3) наблюдалась в период осеннего половодья 2012 г. в нижнем течении реки.

Для оценки антропогенного загрязнения воды чаще всего используются показатели суммарного содержания в воде органических веществ, такие, как биологическое потребление кислорода ($БПК_5$) и химическое потребление кислорода (ХПК).

Определение биологического потребления кислорода $БПК_5$. В поверхностных водах величина $БПК_5$ должна составлять не более 6 мг O_2/дм^3 для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования [13]. Сезонные колебания зависят в основном от исходной концентрации растворенного кислорода и температуры. Весьма значительны изменения величин $БПК_5$ в зависимости от степени загрязненности водоемов.

Анализ динамики изменения величин $БПК_5$ показал, что значения $БПК_5$ превышали нормативные величины на всем протяжении реки во всех контрольных створах.

Изменение $БПК_5$ в различные периоды года представлено на рис. 1.

Весенние половодья характеризуются более высокими показателями значений $БПК_5$ во всех створах по сравнению с показателями в осенние половодья.

Максимальные значения данного показателя были зафиксированы в периоды весеннего половодья в речной воде, отобранной ниже сброса сточных вод городской

санкционированной свалки ТБО «Пихтулино». Значения $БПК_5$ превышали нормативные величины от 90 до 102 раз.

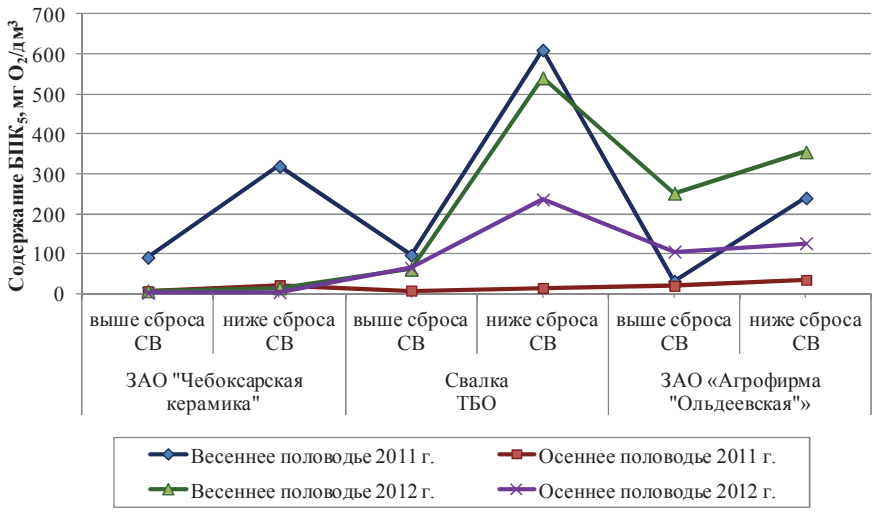


Рис. 1. Содержание $БПК_5$ в воде малой реки Кукшум в различные периоды года

Сброс сточных вод ЗАО «Агрофирма “Ольдеевская”» также приводит к повышению данного показателя как в период осенних половодий, так и особенно в период весеннего половодья 2012 г. Значения $БПК_5$ превышали нормативные величины в данный период в 39 раз.

Определение химического потребления кислорода ХПК. В программах экологического мониторинга величина ХПК используется в качестве меры содержания органического вещества в пробе, которое подвержено окислению сильным химическим окислителем. ХПК применяют для характеристики состояния водотоков, поступления сточных вод, а также поверхностного стока. В соответствии с нормативными требованиями к составу и свойствам воды в зонах рекреации в водных объектах допускается величина ХПК до 30 мг $O_2/дм^3$ [13].

Изменение ХПК в различные периоды года приведено на рис. 2.

Речная вода, отобранная выше сброса сточных вод ЗАО фирма «Чебоксарская керамика», содержит небольшое количество органических веществ во все периоды отбора. При сбросе сточных вод данного предприятия наблюдалось значительное увеличение содержания органических веществ только в период весеннего половодья 2011 г. Значения ХПК превышали нормативные величины в данный период в 36 раз.

Большое поступление органических ЗВ отмечалось в среднем течении р. Кукшум ниже сброса сточных вод городской санкционированной свалки ТБО «Пихтулино» (за исключением осеннего периода 2011 г.). Особенно выделяются периоды весеннего половодья 2011 и 2012 гг., когда превышения нормативной величины варьировали от 43 до 69 раз. Значительное увеличение содержания органических ЗВ во все периоды наблюдения обусловлено, по-видимому, влиянием фильтрата свалки.

В нижнем течении реки содержание органических веществ несколько уменьшается за счет разбавления воды, однако остается еще достаточно высоким. Сточные воды ЗАО «Агрофирма “Ольдеевская”» осуществляют дальнейший привнос органических веществ с сельскохозяйственных угодий. Превышения значений ХПК на данном участке варьировали от 15 до 43 раз в зависимости от сезона и года.

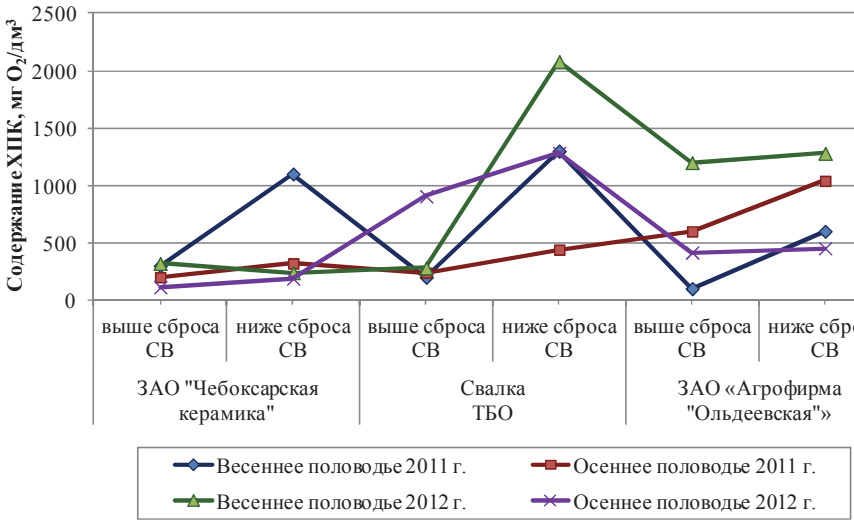


Рис. 2. Содержание ХПК в воде малой реки Кукшум в различные периоды года

Содержание взвешенных веществ. Взвешенные твердые вещества, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспензированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Концентрация взвешенных частиц связана с сезонными факторами и режимом стока, зависит от пород, слагающих русло, а также от антропогенных факторов, таких как ливневый сток и поверхностный сток сельскохозяйственных угодий и т.п.

Изменение содержания взвешенных веществ в воде р. Кукшум в различные периоды года представлено на рис. 3.

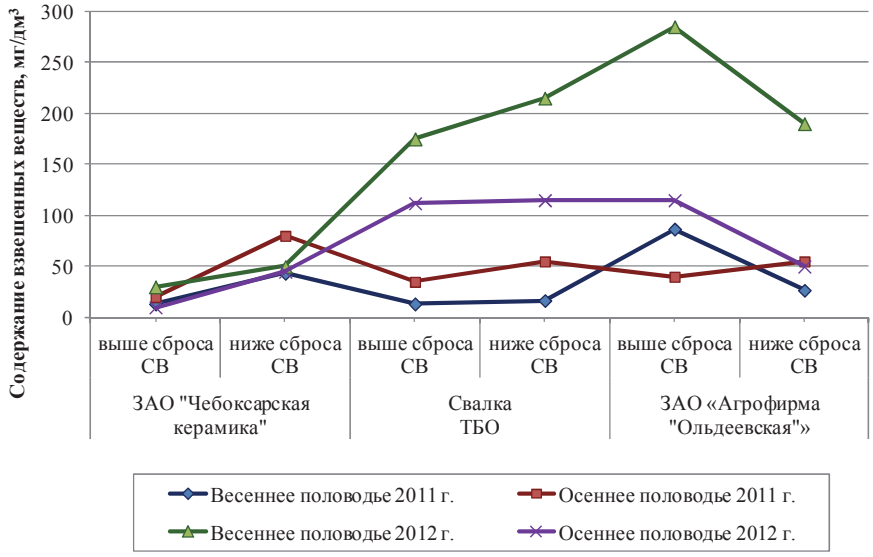


Рис. 3. Содержание взвешенных веществ в воде малой реки Кукшум в различные периоды года

Речная вода, отобранная выше и ниже сброса сточных вод ЗАО фирма «Чебоксарская керамика», содержит меньше всего взвешенных веществ по сравнению с ни-

жерасположенными источниками загрязнения. Эта тенденция сохраняется во все наблюдаемые периоды. Содержание взвешенных веществ варьировало в интервале от 13 до 80 мг/дм^3.

Максимальные концентрации взвешенных веществ отмечены в створе ниже от места впадения ручья-фильтрата городской санкционированной свалки ТБО «Пихтулино» и в створе выше сброса сточных вод ЗАО «Агрофирма “Ольдеевская”» в период весеннего половодья 2012 г. Содержание взвешенных веществ варьировало в этот период от 215 до 285 мг/дм^3.

Минерализация. Суммарная минерализация (содержание сухого остатка) речной воды р. Кукшум не превышает нормативные показатели (1000 мг/дм^3) на всем её протяжении [13].

Изменения минерализации в различные периоды года приведены на рис. 4.

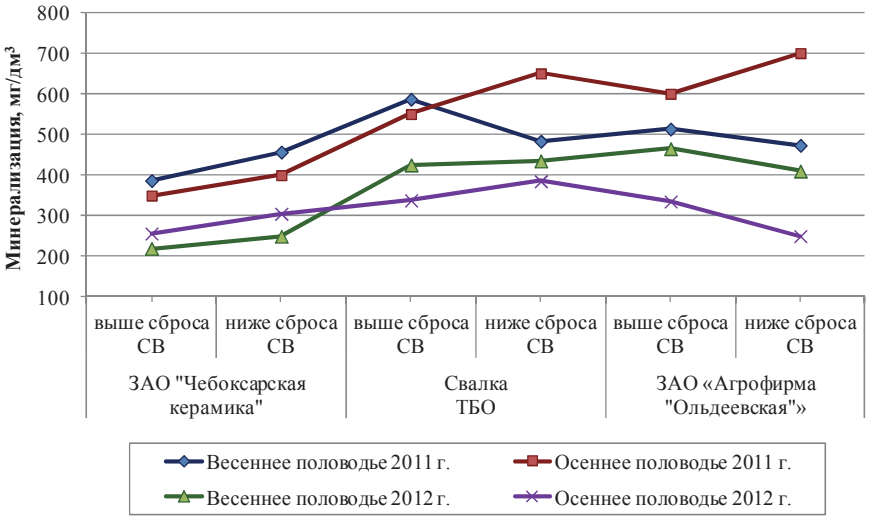


Рис. 4. Минерализация воды малой реки Кукшум в различные периоды года

Наблюдается плавное увеличение минерализации вниз по потоку, хотя различия по сезонам года в каждом створе отбора относительно небольшое. Можно выделить отдельные участки небольшой протяженности, где отмечены закономерные изменения минерализации. Так, участок в среднем течении реки характеризуется ростом минерализации от 338 до 650 мг/дм^3 (по данным весенних и осенних наблюдений). Подобное увеличение минерализации свидетельствует о том, что ведущим фактором в формировании здесь речного стока является фильтрат городской санкционированной свалки ТБО «Пихтулино», поступающий в водоток. Ниже по течению минерализация речных вод несколько снижается по сравнению со значениями среднего течения реки, за исключением показателей в осеннее половодье 2011 г.

Содержание хлоридов и сульфатов. Хлорид-ион – важнейший показатель минерализации и генезиса природных вод. Концентрация хлорид-ионов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям, коррелирующим с изменением общей минерализации воды. Эти колебания могут служить одним из критериев загрязненности водоема хозяйственно-бытовыми стоками. ПДК хлорид-ионов в природных водах составляет 300 мг/дм^3 [3].

Источниками сульфат-ионов в поверхностных водах, помимо процессов химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, являются сточные воды предприятий, бытовые стоки и воды, выносимыми с сельскохозяйственных угодий. В речных водах содержание сульфат-ионов колеблется от 5 до 60 мг/дм^3. ПДК сульфат-ионов в природных водах составляет 500 мг/дм^3 [3].

Исследования показали, что в водной среде р. Кукшум не происходит превышения нормативных величин для хлоридов и сульфатов.

Сезонная динамика характеризуется синхронным увеличением концентрации обоих показателей в период осеннего половодья по сравнению с таковым в весенние половодья 2011 и 2012 гг. Изменение концентрации хлорид- и сульфат-ионов обусловлено значительным уменьшением объема водного стока в период незначительных осенних дождевых паводков по сравнению с многократным разбавлением воды в период весеннего половодья.

Пространственная динамика изменения хлоридов и сульфатов выявила различное их распределение в воде. Так, для сульфатов максимальное содержание наблюдается в районе городской санкционированной свалки ТБО «Пихтулино» (от 50 до 122 мг/дм^3), и далее их концентрация снижается (от 34 до 104 мг/дм^3).

Для хлоридов практически нет изменения концентраций в среднем (от 129 до 186 мг/дм^3) и нижнем (от 122 до 178 мг/дм^3) течении реки в обоих сезонах наблюдений.

Данная работа является лишь частью комплексных исследований по изучению экологической характеристики малой реки Кукшум в условиях антропогенного воздействия. Для эффективной оценки экологического состояния малой реки Кукшум проведено определение содержания тяжелых металлов во всех звеньях экологической цепи как в воде, так и в донных отложениях.

Выводы. Проведенные химико-аналитические исследования свидетельствуют о неравномерности распределения загрязняющих веществ в водном объекте р. Кукшум. Изучение динамики изменения содержания основных загрязняющих веществ в воде показало увеличение в период весеннего половодья таких показателей, как ХПК, $БПК_5$, взвешенные вещества, по сравнению с аналогичными показателями в период осенних дождевых паводков.

Таким образом, малая река Кукшум на территории города Чебоксары и вне его испытывает совершенно разную антропогенную нагрузку в зависимости от гидрологического режима реки и сбросов сточных вод. При экологической оценке степени загрязнения малой реки Кукшум помимо влияния городской санкционированной свалки ТБО «Пихтулино» необходимо учитывать дополнительное антропогенное воздействие других источников загрязнения.

Литература

1. *Алекин О.А*. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.

2. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб: утв. постановлением Госстандарта РФ от 21.04.2000 г. № 117-ст [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

3. *Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: http://www.eclife.ru/data/tdata/td4i.php (дата обращения: 01.09.2011).

4. *Львович А.И.* Защита вод от загрязнения. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 168 с.

5. *Никаноров И.В.* Антропогенное преобразование малых рек в урбанизированных территориях (на примере г. Чебоксары) // Экологический вестник Чувашской Республики. 2005. Вып. 48. С. 54-60.

6. О Генеральной схеме очистки территории города Чебоксары – столицы Чувашской Республики: решение Чебоксарского городского собрания депутатов от 26.05.2009 г. № 1326 [Электронный ресурс]. URL: http://www.regionz.ru/index.php?ds=310749.

7. О состоянии водоотведения на территории населенных мест Чувашской Республики: решение коллегии Территориального управления Роспотребнадзора по Чувашской Республике от 16.12.2010 г. № 30-15 [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Чувашской Республике – Чувашии: сайт. URL: http://21.rospotrebnadzor.ru/c/journal/view_article_content?groupId=10156&articleId=128086&version=1.0 (дата обращения: 01.09.2011).

8. Об экологической ситуации в Чувашской Республике в 2011 году: доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Чувашской Республики. Чебоксары, 2012. 67 с.

9. Паспорт реки Кукшум [Электронный ресурс]. URL: http://www.textual.ru/gvr/index. php?card=177062 (дата обращения: 01.09.2011).

10. Переработка и захоронение твёрдых бытовых отходов: инвестиционный проект Чувашской Республики [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Чувашской Республики: сайт. URL: http://www.minpriroda.cap.ru (дата обращения: 01.09.2011).

11. Самоочищение водоемов от ПАВ [Электронный ресурс]. URL: http://www.o8ode.ru/article/answer/pnanetwater/camoo4iqenie_vodoemov_ot_pav.htm (дата обращения: 01.09.2011).

12. Санитарное состояние и охрана водных ресурсов г. Чебоксары [Электронный ресурс]// Комитет по охране окружающей природной среды и природопользованию города Чебоксары: сайт. URL: http://chebgorpr.narod.ru/Water/water3.html (дата обращения: 01.09.2011).

13. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ от 22.06.2000 г. (с изм. от 04.02.2011 г.) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. *Соколов А.А.* О зональных и азональных факторах стока // Сборник работ по гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. № 2. С. 147-165.

15. Чебоксары. Генеральный план: пояснительная записка. 2004. Т. 1. (вторая редакция) [Электронный ресурс]. URL http://rudocs.exdat.com/docs/index-571319.html?page=22 (дата обращения: 01.09.2011).

КОНСТАНТИНОВА ТАТЬЯНА ГЕННАДЬЕВНА – кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии и защиты окружающей среды, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (takonst@inbox.ru).

KONSTANTINOVA TATYANA GENNADIEVNA – candidate of chemical sciences, assistant professor of Chemical Technologies and Environmental Protection Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ВАСИЛЬЕВА ЛИЛИЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА – магистрант кафедры химической технологии и защиты окружающей среды, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (avliliya@mail.ru).

VASILYEVA LILIYA VYACHESLAVOVNA – master's program student of Chemical Technologies and Environmental Protection Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 502/504
ББК 20.1

А.Г. КОРНИЛОВ, Л.Ю. ГОРДЕЕВ

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЖИЛЫХ ЗОН ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ*

Ключевые слова: *загрязнение атмосферного воздуха, экология жилищ, городская экология.*

Изучено загрязнение воздушной среды жилой зоны окисью углерода, оксидами азота и фенолформальдегидами. Рекомендованы мероприятия, направленные на улучшение экологического состояния атмосферного воздуха в жилых помещениях.

A.G. KORNILOV, L.Yu. GORDEEV

ECOLOGICAL CONDITIONS OF AIR LIVING AREA OF BELGOROD

Key words: *air pollution, ecology of dwellings, urban ecology.*

The study of air pollution in the residential area of carbon monoxide, oxides of nitrogen and phenol formaldehyde. Recommended measures to improve the ecological state of atmospheric air in the homes.

Экологическое состояние атмосферного воздуха в значительной степени определяет комфортность среды обитания для человека. Потому представляются важными выявление и контроль источников загрязнения атмосферного воздуха в местах компактного проживания населения, т.е. в первую очередь в населенных пунктах.

* Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ Белгородским государственным национальным исследовательским университетом на 2013 г. (проект № 5.1739.2011).

Промышленность на протяжении многих лет остается традиционным источником эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу. Однако в последние десятилетия в связи со значительным сокращением объемов производства в некоторых отраслях и его диверсификацией произошло уменьшение количества выбросов. Наметилась тенденция постепенного уменьшения доли промышленности в суммарном объеме выбросов [1].

Автомобильный транспорт в настоящее время является одним крупнейших источников загрязнения атмосферного воздуха. В отличие от объектов промышленности автотранспорт представлен большим числом подвижных источников выбросов загрязняющих веществ в приземный слой атмосферы, что представляет угрозу как для здоровья населения, так и для окружающей природной среды. Эмиссия поллютантов автомобильным транспортом, особенно на территориях крупных городов, на протяжении многих лет имеет тенденцию к устойчивому росту [2]. Например, в г. Белгород вклад автотранспорта в общее загрязнение атмосферы уже превышает 60% и вследствие роста автопарка продолжает увеличиваться [3].

Помимо производственного и автотранспортного факторов определенное влияние на загрязнение атмосферного воздуха оказывают процессы, протекающие в помещениях жилого фонда. Среди них можно отметить: выделение фенолформальдегидов из мебели, бытовой техники, строительных и отделочных материалов; выделение угарного газа при использовании бытовых газовых плит и колонок.

Измерения, проведенные в жилых помещениях, расположенных на разных этажах зданий, при разной степени использования газовых приборов, дали следующие результаты (табл. 1):

Таблица 1

Усредненные максимально разовые концентрации оксида углерода и формальдегида в городских квартирах

Этаж	Режим работы газового оборудования	Концентрация CO, мг/м^3	Отделка и обстановка жилого помещения на момент проведения измерений	Концентрация HCOH, мг/м^3
1-й	включены 2 конфорки	2,17	После ремонта, новой мебели мало, есть мебель из ДСП	0,00158
3-й	включены 2 конфорки и духовка	4,39	Ремонт был давно, новой мебели мало, есть мебель из ДСП	0,00966
7-й	включены 3 конфорки	5,88*	Ремонт был давно, новой мебели мало, есть мебель из ДСП	0,0223
9-й	включены 2 конфорки	8,07*	Ремонт, имеется только новая мебель	0,398*

Примечание. * превышение предельно допустимых максимально разовых концентраций.

Изменение уровней концентрации угарного газа в помещениях линейно зависит от продолжительности работы газовых горелок. Так, в некоторых случаях уже через 10 мин работы 2 конфорок газовой плиты (при полной исправности и отрегулированности оборудования) отмечается превышение $ПДК_{мр}$.

Такие контролируемые ингредиенты, как оксид азота (II), диоксид азота, пыль неорганическая, свинец и его соединения, в жилых помещениях не накапливаются и угрозы здоровью не создают (табл. 2).

Значения концентраций оксида углерода и формальдегида в городских жилищах при интенсивном использовании газового оборудования и наличии большого количе-

ства содержащих фенолформальдегиды материалов часто сопоставимы с концентрациями данных загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха вблизи крупных автомагистралей (табл. 3).

Таблица 2

Усредненные максимально разовые концентрации оксида азота (II), диоксида азота, свинца и его соединений и пыли неорганической в городских квартирах

Этаж	NO	NO_2	Пыль неорганическая	Свинец и его соединения
1-й	0,00268	0,0134	0,0219	0,000398
3-й	0,00501	0,0148	0,0206	0,00016
7-й	0	0	0,0189	0,0000874
9-й	0	0	0,0199	0,000126

Таблица 3

Усредненные максимально разовые концентрации оксида углерода и формальдегида в створах улиц и перекрестков г. Белгород, на удалении от проезжей части в 1 м

Расположение точек наблюдения	Концентрация CO, мг/м^3	Концентрация HCOH, мг/м^3
Перекресток проспектов Богдана Хмельницкого и Славы (в центральной части города)	4,45	0,078*
Михайловское шоссе (в восточной части города, промышленная зона)	4,43	0,05*
Перекресток улиц Костюкова, Волчанской и Михайловского шоссе (в юго-западной части города)	3,96	0,063*
Проспект Богдана Хмельницкого (в северной части города)	2,46	0,013
Проспект Ватутина (в южной части города)	3,81	0,028
Пересечение улиц Губкина, Красноармейской, Магистральной (в юго-западной части города)	2,75	0,024
Фоновые территории (в глубине микрорайонов на удалении от автомагистралей)	0,986	0,000459

Примечание. * – превышение предельно допустимых максимально разовых концентраций формальдегида.

Наибольшее загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха отмечается на территориях, примыкающих к автомагистралям, на расстоянии до 15-20 м от проезжей части (рисунок).

На расстоянии более 20-25 м от проезжей части концентрации загрязняющих веществ снижаются до фонового уровня дворовых территорий.

Такая ситуация с превышением предельных уровней концентраций загрязняющих веществ в жилищах горожан является опасной для их здоровья. Общеизвестно, что при продолжительном воздействии на организм человека формальдегид оказывает негативное влияние на дыхательную и половую системы, кожные покровы, органы зрения. Постоянное наличие значительных концентраций формальдегида в атмосферном воздухе может приводить к упадку сил, затруднению дыхания, головной боли, потери сознания, депрессии.

Влияние угарного газа на здоровье человека зависит от его концентрации и времени воздействия на организм. Концентрация угарного газа в воздухе более 0,1% приводит к смерти в течение одного часа, а концентрация более 1,2% – в течение трех минут. Длительное воздействие небольших уровней окиси углерода может привести к депрессии, спутанности сознания и потере памяти, обостряет сердечно-сосудистые заболевания.

Поэтому для недопущения угрозы здоровью населения представляется необходимым рекомендовать осуществление ряда мероприятий, способствующих улучшению качества атмосферного воздуха в жилых зонах:



Изменение концентраций оксида углерода и формальдегида в створе на перекрестке ул. Костюкова–Михайловское шоссе–Волчанская (З-В) с западным ветром (вдоль оси ординат слева направо)

1) регулярное проветривание (вытяжное вентилирование) для уменьшения концентраций загрязняющих веществ, образующихся в жилых помещениях;

2) приобретение безопасных отделочных материалов и мебели;

3) подбор комнатных растений, поглощающих формальдегид и угарный газ из воздуха (драцена, папоротники, плющ, хамедорея, фикус Бенджамина).

4) исключение прогулок с детьми вблизи автомагистралей и максимальное сокращение времени пребывания взрослых в зоне интенсивных выбросов автомобильного транспорта.

Литература

1. Выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными источниками и автомобильным транспортом [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики: сайт. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tabl/oxr_vibr4.htm.

2. *Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю.* Мониторинг автотранспортного загрязнения воздушного бассейна города Белгорода в переходные периоды года // Экологические системы и приборы. 2012. № 1. С. 46-51.

3. *Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю., Коваль В.Н.* Автотранспортное загрязнение воздуха в городе Белгороде // Проблемы региональной экологии. 2011. № 2. С. 49-53.

КОРНИЛОВ АНДРЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии и геоэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород (kornilov@bsu.edu.ru).

KORNILOV ANDREY GENNADIEVICH – doctor of geographical sciences, professor, head of Geography and Geoecology Chair, Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod.

ГОРДЕЕВ ЛЕОНИД ЮРЬЕВИЧ – аспирант кафедры географии и геоэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород (gleo89@yandex.ru).

GORGEEV LEONID YURYEVICH – post-graduate student of Geography and Geoecology chair, Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod.

УДК 631.47(470.325)
ББК 40.32(2…)

Л.Л. НОВЫХ, А.Г. КОРНИЛОВ,
Е.А. ДРОЗДОВА, И.Ю. ВАГУРИН

СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ*

Ключевые слова: *структура почвенного покрова, урбо-почвы, техно-почвы, агрочерноземы, техноземы.*

Проведено крупномасштабное почвенное обследование в промышленной зоне горнодобывающих предприятий Белгородской области. Показано, что вместо неконтрастных комбинаций почв, типичных для изучаемой территории, развиваются контрастные – комплексы и мозаики, особенно это характерно для регионов с открытой добычей железорудного сырья. Установлена необходимость изменений в организации и нормативно-правовом обеспечении почвенного обследования территории в рамках инженерно-экологических изысканий.

L.L. NOVYKH, A.G. KORNILOV, E.A. DROZDOVA, I.Yu. VAGURIN

STRUCTURE OF THE SOIL COVER IN INDUSTRIAL ZONE OF MINING THE BELGOROD REGION

Key words: *structure of the soil cover, soil-urbanity, techno-soil agrochernozemy, tehnozemy.*

Conducted a large-scale soil survey in the industrial area of mining the Belgorod region. It is shown that instead of non-contrast combinations of soils typical of the study area, develop contrasting – complexes and mosaics, especially for regions with open mining of iron ore. The necessity of changes in the organization and regulatory support soil survey area in the environmental research.

Техногенные ландшафты в районе Курской магнитной аномалии (КМА) занимают площадь более 30 тыс. га (на территорию Белгородской области приходится более 12,5 тыс. га, что составляет 0,5% площади области, наиболее крупные горнорудные предприятия находятся на территории Губкинского, Старооскольского и Яковлевского районов), в связи с чем ухудшается качество природной среды [7, 14]. При этом возникает необходимость поиска путей и методов преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в функционирование природных систем. Этими обстоятельствами диктуется необходимость ускоренного развития научных направлений, связанных с рационализацией недропользования с целью обеспечения устойчивого развития исследуемого региона, включая систему пересурсного и комплексного геоэкологического мониторинга [5]. Значимыми направлениями системы геоэкологических наблюдений за нарушенными территориями являются изучение и оценка структуры почвенного покрова в промышленной зоне горнодобывающих предприятий.

В ходе хозяйственного освоения и использования территорий для проектирования, строительства и эксплуатации предприятий проводятся инженерные изыскания. Их важной составной частью являются инженерно-экологические изыскания. Согласно СП-102-97 [4], они выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды под влиянием антропогенного воздействия с целью предотвращения, минимизации или ликвидации нежелательных экологических последствий.

* Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ Белгородским государственным национальным исследовательским университетом на 2013 г. (проект № 5.1739.2011).

Среди различных направлений инженерно-экологических изысканий важное место занимают почвенные исследования. Их основными задачами являются выбор места размещения строительства на менее плодородных почвах, максимальное сохранение лесного фонда, определение влияния проектируемого объекта на прилегающие сельскохозяйственные и лесные угодья, оценка возможности изъятия земель с учетом их ценности, разработка схем озеленения населенных пунктов и создания рекреационных зон [4]. При изучении почв необходимы сведения об их типах и подтипах, положении их в рельефе, почвообразующих и подстилающих породах, геохимическом составе, неблагоприятных почвенных процессах, видах и степени деградации. При отсутствии или недостаточности опубликованных материалов рекомендуется проводить почвенную съемку.

В ходе проведения инженерно-экологических изысканий на предприятиях горнодобывающей промышленности при составлении проектной документации и производстве работ, связанных с нарушением земель и их рекультивацией, встает проблема снятия плодородного слоя почвы. Согласно ГОСТ 17.4.3.02-85 [10], среди факторов, определяющих мощность снимаемого плодородного и потенциально-плодородного слоев почв, выделяют структуру почвенного покрова.

Целью исследований было определение особенностей структуры почвенного покрова в промышленной зоне горнодобывающих предприятий в условиях открытой и подземной добычи полезных ископаемых на территории Белгородской области, а также выявление основных направлений развития учения о структуре почвенного покрова в связи с проведением изыскательских работ на существующих горнодобывающих предприятиях.

Материалы и методы исследования. Под структурой почвенного покрова понимается определенный тип его строения, т.е. состав, конфигурация и положение относительно друг друга его территориальных единиц различного таксономического уровня. Теоретическая основа учения о структуре почвенного покрова (СПП) разрабатывалась Н.М. Сибирцевым, Г.Н. Высоцким, С.А. Захаровым, С.С. Неуструевым, В.М. Фридландом [2. С. 172]. СПП охватывает закономерности пространственного размещения почв на небольших территориях и полностью выявляется лишь при детальном картографировании почвенного покрова. Эти неоднородности почвенного покрова характеризуются устойчивым составом почв и рисунком почвенных ассоциаций, а также устойчивыми механизмами геохимических и геофизических связей между ареалами почв и единством истории развития; они возникают в результате многократного повторения в пространстве элементарных почвенных ареалов (ЭПА).

В.М. Фридланд [13. С. 54] выделил следующие основные группы почвенных комбинаций: цепи (с отчетливой генетической связью компонентов) и ряды (в них генетическая связь между компонентами отсутствует или очень слабая), которые характеризуются различной степенью контрастности почвенных комбинаций. К первым относятся микро- и мезокомбинации. Микрокомбинации контрастных компонентов называются почвенными комплексами, а неконтрастных – пятнистостями; мезокомбинации – соответственно, сочетаниями и вариациями.

Мозаики и ташеты (ряды) также разделяются по контрастности образующих их компонентов: первые – контрастные, их пестрота часто обусловлена пестротой почвообразующих пород; вторые – слабоконтрастные, их возникновение часто связано с биологическими факторами. Среди микроструктур почвенных рядов выделяют микромозаики и микроташеты.

Изучение литературы [12] показало, что разным типам местности Белгородской области соответствуют различные СПП: *на плакорном типе* доминируют пятнистости, реже комплексы; *на зандровом* – вариации; *на склоновом* – пятнистости и соче-

тания; *на надпойменно-террасовом* – пятнистости и комплексы; *на пойменном* – вариации и пятнистости.

В ходе натурных геоэкологических исследований 2010–2012 гг. мы проводили почвенные обследования в промышленной зоне горнодобывающих предприятий на территории Яковлевского, Губкинского, Старооскольского районов. Некоторые особенности почвенного покрова промышленной зоны Яковлевского района рассмотрены нами в [8].

Крупномасштабное почвенное обследование в промышленной зоне предприятий проводилось в соответствии с [9] по «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований» [8]. В связи с тем, что некоторые особенности почвенного покрова невозможно было охарактеризовать на основе указанной инструкции вследствие значительного изменения в структуре классификации почв России, при изучении почв применялись также источники [1], [3] и [15].

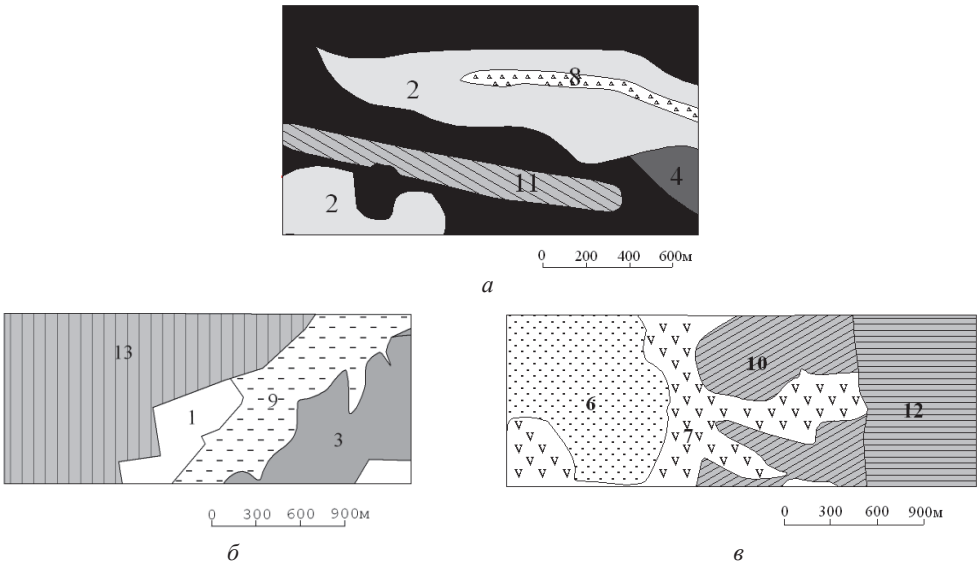
Результаты исследования и их обсуждение. На всех изученных участках нами были выделены фоновые почвы. Ими являлись черноземы, которые в течение длительного времени подвергаются распашке. По классификации почв России 2004 г. [1] мы отнесли их к агрочерноземам. Отличительной чертой агропочв является появление в верхней части профиля пахотного (Ap) и подпахотного (App) горизонтов, которые по своим свойствам резко отличаются от естественных гумусовых горизонтов. В промышленной зоне Яковлевского района фоновая почва была представлена типичным среднемощным тяжелосуглинистым на лёссовидном суглинке агрочерноземом, в Старооскольском районе – пятнистостью агрочерноземов оподзоленных мало- и среднемощных несмытых и слабосмытых тяжелосуглинистых, в Губкинском районе – пятнистостью агрочерноземов типичных мало- и среднемощных слабо- и среднесмытых средне- и тяжелосуглинистых. Очевидно, что формирование фоновых пятнистостей обусловлено проявлением эрозионных процессов.

На рисунке представлены фрагменты почвенных картосхем исследованных участков, иллюстрирующие типичные почвенные ситуации, и дана общая легенда к ним. Обращает на себя внимание господство в легенде не отдельных почвенных разностей, а почвенных комбинаций. Все они относятся к микрокомбинациям, большая часть из них являются контрастными.

В связи с широким распространением глубоко преобразованных почв, утративших основные типовые признаки, искусственно созданных почв и техногенных поверхностных образований, т.е. тех почв, для которых антропогенно-техногенные факторы стали определяющими в возникновении и дальнейшей их эволюции, для их определения использовались новая классификация почв России и классификация антропогенных почв [1, 15].

Среди исследованных почв встречались урбо-почвы (урбо-черноземы, урбо-темно-серые лесные) и культуроземы (ареал 9). Урбо-почвами по современной классификации называют почвы, представленные в населенных пунктах и характеризующиеся наличием антропогенных включений в верхних слоях. Почвы участков, где наблюдается высокая культура земледелия, относят к культуроземам. На исследуемой территории это почвы фруктовых садов и окультуренных пашен, которые характеризуются повышенной мощностью гумусового горизонта. Наличие урбо-почв и культуроземов не связано с деятельностью горнодобывающих предприятий, но зависит от расположения в промышленной зоне населенных пунктов или дачных участков.

Под влиянием промышленной деятельности человека образуются техногенные почвы [1]. Техночерноземы представлены в комплексах ареалов 10-11. Они характеризуются нарушением почвенного профиля в верхней 5-50-сантиметровой толще. Срединные и нижние почвенные горизонты аналогичны естественным почвам, что позволяет отнести изученные техночерноземы к типичным.



Фрагменты картосхем размещения почв и почвоподобных тел
в промышленной зоне горнодобывающих предприятий Белгородской области:
а – Яковлевский район, *б* – Старооскольский район, *в* – Губкинский район

Легенда почвенных картосхем:

№ ареала	Цвет	Название почвы (комбинации почв)
1		Темно-серая лесная мощная тяжелосуглинистая
2		Пятнистость: темно-серая лесная тяжелосуглинистая от маломощной до мощной различной степени смытости (от несмытых до среднесмытых)
3		Пятнистость: агрочернозем оподзоленный мало- и среднемощный несмытый и слабосмытый
4		Агрочернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый
5		Агрочернозем типичный среднемощный тяжелосуглинистый
6		Пятнистость: агрочернозем типичный мало- и среднемощный слабо- и среднесмытый средне- и тяжелосуглинистый
7	v v	Комплекс балочных почв: черноземы типичные слабо- и среднесмытые маломощные и среднемощные среднесуглинистые и дерново-намытая мощная гумусированная среднесуглинистая
8		Комплекс балочных почв: лугово-черноземная выщелоченная среднемощная среднесуглинистая слабонамытая и дерново-намытая мощная среднесуглинистая глееватая
9	– –	Комплекс балочных и антропогенных почв: урбочернозем оподзоленный средне- и маломощный слабо- и среднесмытый, культурозем, урбо-темно-серая лесная средне- и маломощная, дерново-намытая почва
10		Комплекс техночерноземов, агрочерноземов и черноземов типичных мало- и среднемощных слабосмытых
11		Комплекс техногенно-нарушенных почв: техночернозем типичный, технозем, техногенный грунт
12		Мозаика: хемоземы и технозем-конструктоземы
13		Мозаика: резектоземы, экраноземы, хемоземы, грунты запечатанные, техноземы, абралиты, стратолиты

Техноземы – это искусственные почвоподобные тела, состоящие из одного или нескольких слоев природного или техногенного грунта с поверхностным плодородным слоем. Они функционируют как почвы [1]. Появление техноземов на исследуемой территории связано с целенаправленным их созданием при рекультивации, в связи с чем они зачастую носят название «конструктоземы». На территории промышленной зоны Яковлевского района техно-почвы и техноземы встречаются редко, Иная картина в местах открытой добычи железной руды, которая требует осуществления рекультивации.

В ареале 11 присутствует техногенный грунт. Так называют вскрытые техногенные и насыпные естественные породы. Для таких образований встречается также название «технолиты» [11]. Если они образуются после полного отчуждения почвенного профиля при вскрытии рыхлых пород, то их называют абралиты; при вскрытии плотных пород – петролиты, а при насыпных рыхлых породах – стратолиты. Такие образования также типичны для Губкинско-Старооскольского региона в связи с открытой добычей полезных ископаемых.

Природные почвы, перекрытые асфальтом и утратившие способность производить биологическую продукцию, получили название «экраноземы». По своим свойствам к ним близки грунты запечатанные – это горные породы, также покрытые асфальтом. Такие образования типичны для населенных пунктов и промышленных площадок (ареал 13).

Под резектоземами понимают почвы, лишенные верхних типодиагностических горизонтов вследствие механического срезания. Хемоземы – обобщающее название всех почв и поверхностных образований, которые сильно химически загрязнены. Эти образования также представлены в виде мозаик на территории Губкинско-Старооскольского региона.

Выводы. Исследование показало, что на смену неконтрастным комбинациям почв, типичным для территории Белгородской области, в промышленной зоне горнодобывающих предприятий приходят контрастные – комплексы и мозаики, особенно это характерно для регионов с открытой добычей железорудного сырья. Большинство комбинаций состоят не из ЭПА, а непочвенных образований, для классификации которых необходимо привлечение иных источников информации, не предусмотренных в СНиП.

Зафиксированные комбинации непочвенных образований зачастую не соответствуют тем комбинациям, которые предлагались учеными-почвоведами в учении о СПП. Так, пестрота мозаик традиционно связывалась с пестротой почвообразующих пород. Однако для ряда техногенных образований само понятие «почвообразующая порода» потеряло смысл. Таким образом, требуют дальнейшей разработки вопросы понятийного аппарата и практического применения учения о СПП для регионов, существенно преобразованных горнодобывающей деятельностью.

Проведение почвенных исследований на территориях, значительно преобразованных горнодобывающей деятельностью, требует существенных изменений не только в организации таких исследований, но и в нормативно-правовом обеспечении.

Литература

1. *Герасимова М.Н. Строганова М.Н., Можарова Н.В.* Антропогенные почвы: Генезис, география, рекультивация / под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

2. *Добровольский Г.В.* Лекции по истории и методологии почвоведения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. 232 с.

3. *Евдокимова Т.И.* Почвенная съемка. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 269 с.

4. Инженерно-экологические изыскания для строительства: СП-102-97. М.: Госстрой России, 1997. Дата введения 15.08.1997 г. [Электронный ресурс]. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ (дата обращения: 01.12.2012).

5. *Колчанов А.Ф., Присный А.В., Петин А.Н.* Аспекты конфликтности природопользования на примере Яковлевского рудника Белгородской области // Экологические системы и приборы. 2006. № 12. С. 30-38.

6. *Корнилов И.А., Новых Л.Л., Корнилов А.Г.* Геоэкологическая ситуация в промышленной зоне Белгородской области // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 2(45). С. 221-227.

7. *Корнилов А.Г., Петин А.Н., Кичигин Е.В.* Современные изменения природных комплексов в Старооскольско-Губкинском промышленном районе Белгородской области // Изв. РАН. Сер. географическая. 2008. № 2. С. 85-92.

8. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований: утверждена М-вом с.-х. СССР 23.06.1972 г. М.: Колос, 1973. 95 с.

9. Охрана окружающей среды: пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации. М.: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2000 [Электронный ресурс]. URL: http://www.docload.ru/Basesdoc.

10. Охрана природы. Почвы: Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ: ГОСТ 17.4.3.02-85 (СТ СЭВ 4471-84). Группа Т 58. Дата введения 01.01.1987 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.docload.ru/Basesdoc (дата обращения: 01.12.2012).

11. Систематика и диагностика основных типов антропоземов и техногенных поверхностных образований (дата обновления 22.11.2009 г.) [Электронный ресурс]. URL: http://hollywood-flashbash.com.

12. *Соловиченко В.Д.* Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий край, 2005. 292 с.

13. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 424 с.

14. *Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Серикова Е.В.* Деградация геосистем Белгородской области в результате хозяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 69-75.

15. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И.* Классификация и диагностика почв России / отв. ред. Г.В. Добровольский. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

НОВЫХ ЛАРИСА ЛЕОНИДОВНА – кандидат биологических наук, доцент кафедры географии и геоэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород (Novykh@bsu.edu.ru).

NOVYKH LARISA LEONIDOVNA – candidate of biological sciences, assistant professor of Geography and Geoecology Chair, Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod.

КОРНИЛОВ АНДРЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ. **См. с. 125.**

ДРОЗДОВА ЕКАТЕРИНА АРТУРОВНА – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии и геоэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород (Statsenko@bsu.edu.ru).

DROZDOVA EKATERINA ARTUROVNA – candidate of geography sciences, senior teacher of Geography and Geoecology Chair, Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod.

ВАГУРИН ИВАН ЮРЬЕВИЧ – магистрант кафедры географии и геоэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород (586108@bsu.edu.ru).

VAGURIN IVAN YURYEVICH – master's program student of Geography and Geoecology Chair, Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod.

УДК 551.4.042
ББК Д.26.8

Н.Ф. ПЕТРОВ, И.В. НИКОНОРОВА, А.Н. ПАВЛОВ,
А.Е. ГУМЕНЮК, А.Н. АЛЕКСАНДРОВ, Е.Ю. ЯКОВЛЕВ, А.С. ЗАХАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОЛЗНЕЙ ЧЕБОКСАРСКОГО И МАРИИНСКО-ПОСАДСКОГО ПРАВОБЕРЕЖЬЯ ДОЛИНЫ ВОЛГИ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ В ПОРОДАХ ТАТАРСКОГО ЯРУСА ПЕРМСКОЙ СИСТЕМЫ*

Ключевые слова: *оползневая деформация, активный и пассивный оползни, оценка устойчивости склона, расчетная модель, структурно-функциональная модель, структурные элементы оползневой системы – головной блок, оползневый ярус, блок, этаж.*

Дан анализ компонентов природно-технической системы (грунтовых, геоморфологических, структурно-тектонических, гидрогеологических, экзодинамических, техногенных) – факторов оползневой неустойчивости правобережья Волги. Выявлены основные причины деформации склонов: породы коренной основы – пермские, слагающие весь склон и деформированные оползнями различных типов, подземные воды, разгружающиеся в оползневые накопления, поддерживающие в них высокую влажность; структура оползневых систем из множества оползней различных порядков и возраста; чрезмерные нагрузки на головные блоки давнеоползневых ярусов. В качестве стабилизирующих мер предложено устройство удерживающих конструкций, контрбанкетов, снятие нагрузок с активных блоков, водопонижение.

N.F. PETROV, I.V. NIKONOROVA, A.N. PAVLOV, A.E. GUMENYUK, A.N. ALEXANDROV, E.Yu.YAKOVLEV A.S. ZAKHAROV

RESEARCHING THE LANDSLIDES OF CHEBOKSARKY AND MARIINSKO-POSADSKY DISTRICT OF RIGHT BANK THE VOLGA VALLEY, DEVELOPING IN THE ROCKS OF THE UPPER PERM SYSTEM

Key words: *landslide deformation, the active and passive landslides, slope stability assessment, simulation model, the structural-functional model, the structural elements of the landslide – head unit of landslide, landslide tier, landslide floor.*

The analyses of the components of natural and technical system, which are factors of landslide instability of the right bank of the Volga, are described. Such components of landslide system as ground, geomorphic, structural-tectonic, hydrogeologic, exodynamic and, man-made are analyzed. The basic causes of the deformation of slopes are: native breed foundation – Permian rock composing the entire slope and deformed by landslides of various types; groundwater discharged at the landslide accumulation, supporting them in high humidity; the structure of sliding systems from a variety of different orders of landslides and age, excessive load on the head blocks of old landslides tiers. As a stabilizing device measures are proposed retaining structures, concrete constructions, lifting loads with active units of landslides and dewatering.

Проблема природных опасностей и рисков, возникающих при оползневых деформациях и других экзогенных геологических процессах, в последнее время приобрела особую актуальность в связи с тем, что под гражданское строительство все больше осваиваются склоновые и долинные территории. Однако недоучет оползневой опасности и невнимательное отношение к проведению противооползневых мероприятий привели к ряду разрушительных процессов на объектах городского строительства в г. Чебоксары и на других территориях.

В статье рассмотрены особенности развития оползней в отложениях верхнепермского возраста на трех примерах оползневых склонов г. Чебоксары и одном примере в Марпосадском районе. На первом участке – «Овраг № 2 г. Чебоксары» были изучены цикличность развития оползней при активной донной эрозии и их стабилизации ком-

* Исследование выполнено по соглашению № 14.B37.21.0606 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

плексом противоэрозионных мер. За последние 10 лет здесь сформировалось не менее трех головных блоков путем отделения от края плато пластин шириной 7-12 м, которые увеличиваются в размерах к устью оврага, по направлению к р. Волга. В породах татарского яруса формируются одноэтажные глубокие оползни, состоящие из сопряженных ярусов. На следующем участке – «Овраг № 5 г. Чебоксары», сложенном породами вятского и северо-двинского горизонтов, в последние годы (с 2001 г.) сформировались новые одноярусные оползни с головным блоками вращения (Новоилларионовский оползень) и оползни сброса (Новосельский оползень). Первый является висячим оползнем, а второй – подошвенным и охватил весь склон. Оба представляют собой наглядные примеры формирования блоковых оползней скольжения. На третьем участке в г. Чебоксары – «Парк Победы» описан трехэтажный оползень и разработаны модели по оценке устойчивости и разработке противооползневых мероприятий путем анализа истории формирования подобных оползневых систем. Здесь также преобладают глубокие одноярусные оползни различной генерации, развивающиеся в основном по механизму скольжения. Что касается оползней течения типа потоков, то все они располагаются в днищах оврагов и представлены продуктами выветривания коренных пород, элювиально-делювиальными накоплениями. Оползни возникли за счет переувлажнения данных грунтов за счет таяния снежных отвалов, привозимых с городских территорий [1]. Что касается оползня, расположенного в Мариинско-Посадском районе возле базы отдыха «Утёс», то он является одним из самых молодых. Он образовался 17 апреля 2003 г. на теле более древнего оползня, сложенного породами уржумского горизонта. В этом районе выделяются 3 яруса оползня: два древних и один молодой. Все три яруса являются оползнями скольжения. Их поверхности смещения в верхней, головной части близки к поверхностям вращения, а в средней и, в какой-то мере, в нижней – к плоской поверхности.

В геологическом строении территории города породы татарского яруса (вятского, северодвинского и уржумского горизонтов) играют главенствующую роль. Они слагают ее коренную основу и обнажаются в пределах значительных площадей косогоров правобережья Волги, долин малых рек, их притоков (Цивиль, Аниш, Заовражный, Чебоксарка, Кайбулка, Трусиха, Сугутка, Кукшум), а также многочисленных, чаще безымянных, оврагов. Специалисты знают, что на склонах долин упомянутых рек широко распространены оползни различного возраста и строения. По механизму они являются преимущественно оползнями скольжения, по структуре – одноблочными и одноярусными системами. К наиболее дискуссионным вопросам здесь можно отнести условия образования: 1) многоэтажных оползневых систем; 2) двух-, трехступенчатых оползневых склонов; 3) отдельных одноступенчатых склонов при образовании оползней-сбросов, которые появлялись и раньше (например, ниже устья 2-го (участок овраг «Барис»), 4-го и 5-го (участок Новое село) оврагов, в 400 м выше устья Чернышевского оврага и др.). Оползни продолжают внезапно возникать и в настоящее время (Новосельский оползень).

Овраг № 2 г. Чебоксары (Барис) расположен в северо-западном районе (СЗР), микрорайон «Волжский-2». Рассматриваемый овраг располагается между микрорайонами «Волжский-1» и «Волжский-2». Естественными границами рассматриваемого массива являются существующие бровки оврага от набережной (контрбанкета) на севере до улиц Талвира и М. Горького на юге и прилегающие к бровкам оврага края плато шириной до 20-25 м с коттеджами по ул. Сверчкова и жилыми домами по ул. А. Игнатьева. Устьевая часть данного оврага на протяжении около 300 м, до слияния двух его вершин, была поражена активными оползнями и в течение последних 50 лет была объектом многократных изысканий институтов Гипрокоммунстрой (Москва), ЧувашГИИЗ, Чувашгипроводхоз (Чебоксары). Если судить по архивным материалам, начиная с 1973 г. на правом борту оврага образовалось не менее двух блоков шириной до 9-11 м. В днище оврага продолжались эрозионные процессы, и вплоть до весны 2006 г. от правого края плато начал отделяться уже третий новый головной блок в виде узкой пластины длиной до 60 м и шириной от 3-5 м у южного конца оползневой системы до 9,0 м у её северного конца ближе к бровке склона Волги. Здесь впервые в последнее

столетие началось вовлечение в оползнеобразование и части волжского давнеоползневого склона на протяжении 15-20 м от места сочленения склонов оврага и Волги. За прошедшие два года новый блок опустился более чем на 2,0 м. Причем амплитуда вертикального смещения возрастает с севера на юг от 0,8 м до 1,8 м в середине и более 2,2 м у южного конца. По имеющимся сведениям, активные подвижки здесь начались давно, очевидно, с тех пор, как в овраг стали сбрасывать ливнестоки с застроенных территорий по улицам М. Горького, Университетская, Мичмана Павлова и др. Судя по старым планшетам города масштаба 1:5000, данный «овраг» скорее представлял собой задернованную неглубокую балку, располагавшуюся до современного магазина «Акатуй» (ул. Университетская), без признаков донных размывов. В настоящее время (по проектам ЗАО «Институт «Чувашгипроводхоз») на дне оврага в его устьевой части построено очистное сооружение ливнестоков на отметках контрбанкета (71-72 м) в виде запруды с проектной отметкой зеркала до 74,0 м, постоянный водоток заведен в трубу, на дне оврага построены дренажи, а днище оврага выше пруда засыпано. Отделение нового блока от края плато произошло во время строительства упомянутых очистных сооружений, которые имеют и функции противооползневых мероприятий (ПОМ). Действительно, сравнение профилей склонов, соответствующих их состояниям на 1999 и 2007 гг., показывает, что значительная часть русла теперь засыпана, языки оползней пригружены, подперты грунтом и в целом устойчивость должна повыситься. Это подтверждается наблюдениями последних трех лет: опускание головного блока прекратилось, выпирания или надвигания языкового блока также не наблюдается. Следовательно, активизация оползня весной 2006 г. могла произойти в момент углубления дна оврага, удаления оползневых масс в процессе подготовки его дна для засыпки качественным грунтом – речным песком. После засыпки дна оврага песком до проектных отметок и регулирования поверхностного стока на дне оврага оползень, по-видимому, остановился и находится теперь в стабильном состоянии или в стадии стабилизации.

Второй участок – Овраг № 5 (Новосельский) проходит по границе микрорайонов «Волжский-2» и «Волжский-3». Изучаемый объект известен по нумерации проектного института «Гипрокоммунстрой» (Москва) как овраг № 5, или Новосельский овраг. Овраг начинается с территории Кооперативного института (у пересечения улиц М. Горького и Гузовского) и следует к Волге между улицами Сельская и Новоилларионовская, разделяя застраиваемые новые микрорайоны СЗР г. Чебоксары «Волжский 2» и «Волжский 3». Данный овраг давно служит природным коллектором ливнестоков, и в настоящее время в него сбрасываются ливневые и половодные воды со значительной водосборной площади СЗР (0,87 км^2), активизируя донный размыв и провоцируя склоновые процессы. По правому склону оврага № 5 издревле была проложена гужевая дорога для спуска к руслу Волги, превращенная в настоящее время в пешеходную асфальтированную дорогу для спуска горожан в зону городского пляжа и в других рекреационных и спортивных целях. Нигде в СЗР на протяжении 6 км западнее залива нет спусков к Волге, а названный спуск постоянно деформируется оползнями и в 2005 г. был захвачен головной частью активизировавшегося давнего оползня на протяжении 62 м и опущен на 1,5-2,0 м. Дорожка стала труднопроходимой даже после ремонта. До заполнения водохранилища базис эрозии оврага равнялся 58-60 м БС и контролировался верхней отметкой бечевника (половодного уровня). Глубина оврага в устьевой части достигала 60-65 м, и только в 90-100 м от устья, при отметки тальвега 70 м и более, высота бортов осталась прежней, т.е. равной 50 м и менее. Тем не менее в прежних, более напряженных, условиях на склонах оврага не было крупных оползней. Только на нижней половине правого склона ниже упомянутой дорожки были закартированы локальные оползни течения. На левом же склоне вообще не было активных оползней, кроме небольшой площадки шириной 5-8 м и длиной 60-70 м в пределах отметок 77-79 м, вероятно, давнеоползневого происхождения. Склон был целиком задернован, покрыт лесом. Такое состояние продолжалось до 2001 г., хотя за 2 года до этого наблюдались мощные выбросы селеподобного материала, внезапно запол-

нившего устьевую часть оврага и поверхность контрбанкета в пределах пляжа. Вторым крупным источником пролювия оказался склоновый овраг в конце ул. Новоилларионовская, расчленивший склон Волги на две части.

Третий участок расположен в микрорайоне «Текстильщик», это Парк Победы с монументом Воинской Славы. Территория Парка Победы играет в Чебоксарах особую рекреационную роль. Ее привлекательность как места отдыха горожан в настоящее время бурно растет. Занимая живописное горное правобережье Чебоксарки и Волги, она давно стала достопримечательностью столицы. Последний крупный оползень-поток в пределах мемориального Парка Победы произошел в ночь с 14 на 15 апреля 1999 г. в 150 м западнее монумента Воинской Славы. В движение была вовлечена краевая часть плато шириной до 30 м и длиной до 20 м. Общая длина оползня достигла 160 м. Оползень повалил опору осветительной сети и начал разрушать асфальтированную прогулочную дорожку. Его фронтальная часть в виде языка наползания высотой до 2 м остановилась в 15 м от напорного водовода на краю асфальтированной дороги. До этого вблизи монумента уже возникали подобные оползни – один в 1980 г. севернее основания монумента, а другой – в 1992 г. западнее первого. Объект Парк Победы и его геологическая среда рассматриваются в следующих границах: северная граница – берег водохранилища и его подводная часть до отметки 40-42 м, восточная граница – воображаемая вертикальная плоскость в 150 м восточнее монумента Воинской Славы, проходящая через горнолыжную трассу, южная граница – аналогичная плоскость по улице Зои Яковлевой, западная граница – вертикальная плоскость в 250 м от монумента Воинской Славы, по трассе напорного водовода текстильного комбината. За нижнюю границу массива принята субгоризонтальная поверхность с абсолютной отметкой 40-42 м, примерно совпадающая с кровлей карбонатной толщи (уржумский горизонт). Массив в указанных границах можно представить в виде природно-технической системы (ПТС), состоящей из следующих шести элементов естественного и искусственного происхождения: 1) водораздельное плато с отметками поверхности 120 м и более и приводораздельный склон приустьевой части долины р. Чебоксарка и ее притока Кайбулки с отметками поверхности от 108 до 120 м; 2) стенка срыва оползня 1-го порядка, бровка которой с отметками от 110 до 118 м совпадает с бровкой берегового крутосклона долины р. Волга, а подошва с отметками 94-92 м представлена тыловым швом оползневой террасы; 3) поверхность оползневого блока 1-го порядка, представленная террасовидной площадкой с отметками от 94 м у тылового шва до 86-88 м – у фронтального края, длина площадки около 50 м при ширине до 200 м; 4) эрозионно-осыпной прирусловый уступ с бровкой на отметках от 88 до 82 м и основанием на отметках 57-59 м (уровень половодья до устройства контрбанкета); 5) бечевник р. Волга, ограниченный меженным (отм. 49-50) и половодным уровнями (отм. 57-59 м). Ширина бечевника меняется от 60 м у восточной границы участка до 130 м – у западной границы; в настоящее время данный элемент целиком закрыт песчаным контрбанкетом; 6) песчаный контрбанкет с отметкой поверхности 70-71 м, возведенный по проекту института «Гидропроект» для защиты берега от абразии и в качестве пригрузки основания склона.

Четвертый участок расположен на правобережье Куйбышевского водохранилища. Нами изучен оползень, образовавшийся 17 апреля 2003 г на территории базы отдыха «Утёс» Мариинско-Посадского района в 5-6 км к востоку от г. Мариинский Посад. Коренная основа волжского косогора на всю 100-метровую глубину эрозионного вреза (между руслом Волги с отметкой 50 м и плато с отметкой 150 м) представлена существенно карбонатной толщей уржумского горизонта татарского яруса верхней перми. В послойно описанном разрезе толщи преобладают известняки (до 40%) и мергели (до 25%), остальная часть представлена разноцветными аргиллитизированными глинами. Вверх по склону особенно выше отметки 110-115 м количество глин в разрезе возрастает, а известняков – падает. В связи с этим прочность массива к основанию склона как бы увеличивается. Перечисленные породы образуют серии, ритмично чередующиеся между

собой. Слои в коренной основе залегают субгоризонтально с еле заметным падением в южном направлении (от реки), поэтому деформации оползневого типа могут развиваться только инсеквентно, срезая толщи по системе субвертикальных трещин или под углом к слоистости. Породы интенсивно трещиноватые, но слои известняков, тем не менее, играют в массиве бронирующую роль. Ретроспективный анализ склона показывает, что в его эрозионной (доползневой) стадии развития между бровкой плато и бечевником (русло) располагался эрозионно-осыпной склон высотой более 100 м и средней крутизной около 35°. В его пределах на отметках в геологическом прошлом образовался верхний висячий оползень, ставший теперь давним, а недавно возник и нижний. Так склон стал двухступенчатым. Ступени представлены верхней оползневой террасой из двух частей с отметками 116 м и 124 м и нижней грядово-бугристой поверхностью оползневых накоплений с отметками 60-75 м, еще не успевшей сформироваться в террасу. Между плато и верхней террасой – задернованная стенка срыва давнего оползня высотой 25-30 м и крутизной 36°, а между двумя ступенями – стенка срыва и ложе недавнего оползня общей высотой до 50 м и крутизной до 45°. В последнем уступе обнажены субгоризонтально залегающие породы уржумского горизонта. Следовательно, на участке имеются крупные, но все-таки локальные оползни, признаки же общей неустойчивости не обнаружены. Общая устойчивость склона, по-видимому, обеспечивается отсутствием в разрезе пород с явными признаками ОДГ и наличием в составе терригенно-карбонатных пород множества слоев крепких известняков мощностью до 0,8 м, их армирующей ролью. Приведенные выше параметры склонов, при которых образовались упомянутые оползни, являются для большинства склонов Чебоксарского Поволжья запредельными и поражаются оползнями. Образование нижнего оползня привело к появлению на склоне новых форм рельефа, представленных стенкой срыва высотой более 10 м (на отметках 120-110 м), оползневой нишей и ложем длиной около 40-50 м и крутизной до 45°, или зоной оползневого смещения (транзита) в пределах отметок 110-75 м, зоной накопления оползневых масс длиной до 100 м с валами и конусами выпирания на отметках 75-60 м. Фронтальная часть оползня выдвинулась в русло реки Волга почти на 30 м, образовав здесь выступ шириной более 200 м. «Выдвижение» языка произошло путем выпирания коренных пород дна русла. Высокая скорость смещения по крутой поверхности ложа привела к полному разрушению структуры оползневого тела до состояния развала глыб и щебня карбонатных пород. В пределах блоков выпора сохранилась первичная слоистость. В пределах участка все три оползня относятся к локальным. Из них два верхних оползня – давние оползневые ярусы, а нижний – совсем юный крупный оползневой ярус. Оползни же с захватом всего склона (1-го порядка) здесь не обнаружены. Упомянутые три яруса являются оползнями скольжения. Их поверхности смещения в верхней, головной части близки к поверхностям вращения, а в средней и, в какой-то мере, в нижней – к плоской поверхности. Верхние два яруса имеют общую стенку срыва высотой 25-27 м и общий базис смещения в пределах отметок 108-112 м, но различную амплитуду смещения. Имея боковое сопряжение по субвертикальной поверхности сдвиговой природы, они мало зависимы друг от друга. Оба яруса висячие: их языки вначале были срезаны эрозионно-осыпным склоном Волги, а затем стенкой срыва молодого оползня, провоцируя оползневые смещения. Западный ярус многоблочный, а восточный – одноблочный. О древности верхних ярусов свидетельствуют следующие признаки:

1) их стенка срыва с запада срезается денудационным склоном балки и, следовательно, древнее этого склона;

2) стенка срыва выположена с 40-45° до 32° и задернована, покрыта почвенным покровом;

3) оползневое тело денудировано, сохранилась лишь 1/3 часть его первоначального объёма – около 89 000 м^3 из 258 000 м^3. Фронтальные части верхних висячих ярусов, лишенные упора, смещались по крутому склону вниз и удалялись с бечевника рекой.

Нижний оползневой ярус представлен зонами денудации и аккумуляции. Зона денудации – это оползневая ниша, окруженная высокой стенкой отрыва. Отсюда сошел оползневой блок размерами 100 м (длина) × 150 м (ширина) × 13,5 м (средняя мощность) и объемом около 202,5 тыс. м^3. Зона аккумуляции – место накопления оползневых масс длиной почти 100 м и остановки их движения. В тыловой части тела имеется грабенообразное понижение с ручейком на дне, скорее соответствующее блоку сброса. За ним ближе к берегу следует высокий вал выпирания с конусовидными буграми и западинами, за которым, ближе к руслу Волги, расположены еще два вала выпирания. Породы интенсивно раздроблены, но в блоках выпирания местами сохранились элементы первичной слоистости, позволяющие восстанавливать механизм смещения. Объем сместившихся масс (до 232 000 м^3) свидетельствует о незначительной роли эрозионной составляющей баланса оползневых накоплений.

Верхние ярусы развивались по механизму срезания и медленного смещения сопряженных блоков коренных пород по общей поверхности скольжения, близкой к круговой, с отметкой базиса 110-112 м и радиусом около 160 м. В результате здесь образовалась оползневая терраса длиной 50 м и шириной до 200 м, скорее всего, при иных климатических условиях. Образование подобных оползней в современных природных условиях трудно представить. Все известные случаи появления подобных оползней (Соляное, 1998 г., Новое Село, 2001 г., и др.) связаны с иными геолого-геоморфологическими условиями и были спровоцированы техногенно. Нижний оползневой ярус по механизму – это инсеквентно развивавшийся на естественном эрозионно-осыпном склоне в толще скальных и полускальных осадочных пород типичный оползень сброса, образующийся путем длительного отделения по системам трещин от массива пластины мощностью до 15 м и длиной более 100 м. В пределах бечевника реки фронтальная часть оползня с явными признаками выпирания в подстилающих тонкослоистых известняках была вытолкнута в русло Волги почти на 50 м. Эта зона в паводки затапливается рекой, и породы основания склона и замачиваются, и взвешиваются. Поверхность смещения в подобных геологических условиях формируется длительное время, возможно, в течение многих десятилетий или столетий при взаимодействии изменчивых во времени полей прочности за счет выветривания и изменения касательных напряжений.

Геоморфологические наблюдения показывают, что до образования последнего оползня склон долины Волги длительное время (возможно, сотни лет) находился в эрозионной и осыпной стадиях развития без оползневых образований. Судить о периодичности развития подобных оползней в пределах одного и того же склона без данных мониторинга практически невозможно. Поэтому прогнозировать подобные оползни крайне сложно. Мало помогают и расчеты устойчивости традиционными методами, т.е. по данным лабораторных исследований прочности грунтов, так как сдвиговые испытания пород, проводимые на небольших образцах по направлению или поперек их слоистости, далеки от механизма реальных деформаций пород в массиве. Поверхности смещения в субгоризонтально залегающих породах формируются не столько по слоистости, сколько по системам трещин, ориентированным под различными углами к слоистости, в том числе и субвертикально. В результате формируются ослабленные зоны с усредненными сдвиговыми параметрами, которые трудно вычислить по лабораторным данным по каждой из разновидностей пород, слагающих толщу. Недаром большинство специалистов по проектированию ПОМ предпочитают корректировать лабораторные расчетные данные обратными расчетами и проектировать мероприятия по этим данным. В процедуре выполнения обратных расчетов важнейшими условиями успеха являются качество расчетной модели, степень ее соответствия реальному механизму и структуре рассматриваемой оползневой системы.

Полученные результаты важны для градостроительного и транспортного освоения территории Чувашской Республики. В будущем будут подготовлены предложения по повышению качества оценки устойчивости описанных участков на основании составле-

ния корректных расчетных моделей с учетом познания реальных структур оползневых систем. Строительству должно предшествовать инженерно-геологическое обоснование проведения противооползневых мероприятий при освоении склоновых территорий. Аналогичные рекомендации можно использовать при градостроительных мероприятиях в других регионах Среднего Поволжья.

Литература

1. Оползни на автомобильной дороге М–7 «Волга» (Москва-Казань, 583-584 км) в правобережье р. Сура в Чувашской Республике / *Н.Ф. Петров, А.Н. Павлов, И.В. Никонорова и др.* // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: http://www.science-education.ru/106-7772 (дата обращения: 17.12.2012).

ПЕТРОВ НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (petrovnf@gmail.com).

PETROV NIKOLAY FEDOROVICH – candidate of geological and mineralogical sciences, professor of Physical Geography and Geomorphology Chair, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

НИКОНОРОВА ИННА ВИТАЛЬЕВНА – кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет имени, Россия, Чебоксары (niko-inna@yandex.ru).

NIKONOROVA INNA VITALYEVNA – candidate of geographical sciences, assistant professor, head of Physical Geography and Geomorphology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ПАВЛОВ АЛЕКСЕЙ НИЛОВИЧ – аспирант кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет, Чебоксары, Россия (anillpaly400@mail.ru).

PAVLOV ALEXEI NILOVICH – post-graduate student of Physical Geography and Geomorphology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ГУМЕНЮК АННА ЕВГЕНЬЕВНА – ассистент кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (annagumenuk@yandex.ru).

GUMENYUK ANNA EVGENYEVNA – assistant of Physical Geography and Geomorphology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АЛЕКСАНДРОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – студент V курса историко-географического факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (fktrcfyl.87@mail.ru).

ALEXANDROV ALEXANDER NIKOLAYEVICH – student of History and Geography Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЯКОВЛЕВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ – студент V курса историко-географического факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (yakov24lev99@mail.ru).

YAKOVLEV EVGENIY YURYEVICH – student of History and Geography Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (yakov24lev99@mail.ru).

ЗАХАРОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ – студент V курса историко-географического факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (niko-inna@yandex.ru).

ZAKHAROV ALEXANDER SERGEEVICH – student of History and Geography Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 314.7
ББК 60.7

В.А. РУБЦОВ, М.Р. МУСТАФИН, Н.М. БИКТИМИРОВ,
Г.Р. АХУНЗЯНОВА, Е.М. КИБАРДИНА

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТРУДОВОЙ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Ключевые слова: *трудовая миграция, рынок труда, национальная безопасность, иностранный работник, трудящийся-мигрант.*

Рассмотрены территориальные аспекты развития трудовой миграции населения в пределах Республики Татарстан. Показан механизм привлечения и использования иностранных работников. Дана оценка эффективности использования иностранной рабочей силы. Представлены необходимые рекомендации для повышения эффективности привлечения и использования труда иностранных граждан.

**V.A. RUBTSOV, M.R. MUSTAFIN, N.M. BIKTIMIROV,
G.R. AKHUNZYANOVA, E.M. KIBARDINA**

REGIONAL ASPECTS OF WORKING MIGRATION BASED ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Key words: *working migration, the labor market, national security, foreign worker, the working migrant.*

In the article are examined the territorial aspects of the development of the working migration of population in the limits of the Republic of Tatarstan. The mechanism of attraction and using the foreign workers is shown. There was given the estimation of the effectiveness of using the foreign work force. To increase the effectiveness of attraction and using the labor of the foreign citizens the necessary recommendations are represented.

Современный рынок труда является ареной глобальных миграционных процессов, поэтому Российское государство не может быть сторонним наблюдателем миграционных процессов рабочей силы, а обязано их регулировать, учитывая приоритеты своей страны и международные нормы.

Недооценивать вклад трудовой миграции нельзя – иностранные работники приносят новые технологии, инвестиции, удовлетворяют недостающую потребность в рабочей силе, что особенно важно в условиях дефицита трудовых ресурсов, в то же время иностранные работники занимают рабочие места, которые могли бы быть заняты гражданами Российской Федерации, иногда снижают уровень заработной платы. Внешние функции государства, направленные на реализацию его интересов и целей на международной арене, также вынуждены учитывать противоречия обеспечения национальной безопасности, отстаивания государственных интересов в международных отношениях, развития взаимовыгодного сотрудничества, участия в решении глобальных проблем.

Привлечение на работу высококвалифицированных иностранных специалистов позволяет экономить на затратах на их обучение и получать эффект за счет улучшения качественной структуры занятых.

В то же время неравномерное распределение мигрантов по территории, значительный уровень нелегальной миграции, напротив, негативно сказываются на развитии территории.

Что касается других показателей уровня жизни населения, то миграция населения воздействует и на них. В первую очередь это может проявиться в обострении криминальной обстановки. Большая протяженность российской границы является благоприятной почвой для нелегальной и недокументированной иммиграции и сопутствующих потоков наркотических средств, оружия, некачественных товаров потребительского назначения и прочее [1. С. 208].

Недокументированная трудовая миграция, как правило, приводит к увеличению уровня безработицы, вызывает увеличение напряженности на рынке труда. Она ведет к недополучению налоговых поступлений в бюджет.

Вопросы привлечения и использования иностранной рабочей силы актуальны для всех регионов России, в том числе и для Республики Татарстан. Реализуется ряд крупных инвестиционных проектов, в связи с чем спрос на трудовых мигрантов увеличивается. Демографический кризис и утрата популярности рабочих профессий у нового поколения россиян вызывают серьезные осложнения. В то же время целесообразность привлечения иностранных работников должна рассматриваться через призму защиты трудовых ресурсов Российской Федерации, особенно в условиях существующей безработицы, а также через призму национальной безопасности.

По уровню социально-экономического развития Республика Татарстан входит в группу российских регионов с высоким уровнем развития и обладает значительной миграционной привлекательностью.

Нормативное определение трудящегося-мигранта российское законодательство утвердило относительно недавно (11 июля 2011 г. Федеральным законом № 186-ФЗ Российская Федерация ратифицировала Трехсторонне соглашение с Правительством Республики Беларусь, Правительством Республики Казахстан «О правовом статусе трудящихся-мигрантов и членов их семей» от 19.11.2010 г.). Трудящийся-мигрант – лицо, законно находящееся и на законном основании осуществляющее трудовую деятельность на территории государства другого государства, гражданином которого оно не является и в котором постоянно не проживает [4. Ст. 1].

Деятельность, связанная с привлечением трудящихся-мигрантов, осуществляется работодателями государства трудоустройства без учета ограничений по защите национального рынка труда, а трудящимся-мигрантам не требуется получения разрешений на осуществление трудовой деятельности на территориях государств сторон соглашения [4].

Иностранный работник – иностранный гражданин, временно пребывающий в Российской Федерации и осуществляющий в установленном порядке трудовую деятельность [3. Ст. 2].

Категории «трудящийся-мигрант» и «иностранный работник» должны соотноситься как общее и частное. Иностранным работником следует называть тех мигрантов, которые работают по найму, на основе трудового договора, т.е. являются участниками трудовых правоотношений. К трудящимся-мигрантам можно отнести также и другие категории граждан, занимающихся оплачиваемой трудовой деятельностью не на основании трудового договора (например, индивидуальные предприниматели или лица, работающие по договору подряда).

Понятия «трудящийся-мигрант» и «иностранный работник» охватывают только лиц, законно въехавших в страну в качестве трудящихся-мигрантов.

Механизм привлечения и использования иностранных работников определен в Законе «О правовом положении иностранных граждан в Российской Федерации», Постановлении Российской Федерации от 22.12.2006 г. № 783 «О порядке определения исполнительными органами государственной власти потребности в привлечении иностранных работников и формирования квот на осуществление иностранными гражданами трудовой деятельности в Российской Федерации», Постановлениях Российской Федерации об установлении допустимой доли иностранных работников, используемых хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность в сфере розничной торговли и в области спорта, и иных нормативных правовых документах.

Квота на выдачу иностранным гражданам приглашений на въезд в Российскую Федерацию в целях осуществления трудовой деятельности утверждается Правительством Российской Федерации по предложениям исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации [2].

Резерв Российской Федерации – 30% объема квот.

Постановлением предусмотрен и аналогичный порядок корректировки объемов квот.

С 2011 г. на всей территории Российской Федерации централизованно внедрен единый федеральный программный пакет для подачи заявок на привлечение иностранных работников работодателями и обобщения заявок субъектами «Миграквота», существенно упростивший всю систему сбора, обобщения, анализа и оповещения о результатах рассмотрения заявок работодателей.

Уполномоченный орган субъекта (в Республике Татарстан – Минтрудсоцзащиты Республики Татарстан) обобщает заявки и до 1 июня направляет их на рассмотрение:

а) органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющих управление в соответствующих отраслях экономики, а также в области образования;

б) территориального органа Федеральной миграционной службы;

в) территориального органа Федеральной службы по труду и занятости, осуществляющего государственный надзор и контроль за соблюдением трудового законодательства (в Гострудинспекцию);

г) трехсторонних комиссий по регулированию социально-трудовых отношений субъектов Российской Федерации.

Заключения отраслевых министерств о результатах оценки эффективности использования иностранной рабочей силы в предыдущем году представляются в Минтрудсоцзащиты Республики Татарстан до 15 июня, а затем рассматриваются на заседании Межведомственной комиссии.

До 15 июля предложения и информация о результатах оценки эффективности использования иностранной рабочей силы в предыдущем году должны быть направлены от республики в Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации.

Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации ежегодно, до 15 октября, представляет в Правительство Российской Федерации проекты постановлений Правительства Российской Федерации по следующим вопросам:

а) определение потребности в привлечении иностранных работников на очередной год по Российской Федерации, а также по приоритетным профессионально-квалификационным группам;

б) утверждение на очередной год квоты на выдачу иностранным гражданам приглашений на въезд в Российскую Федерацию в целях осуществления трудовой деятельности;

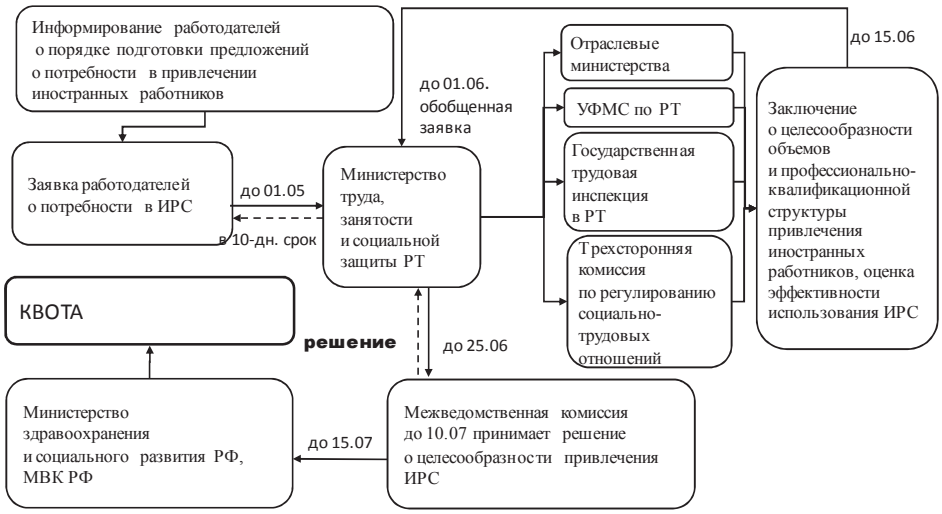
в) утверждение на очередной год квоты на выдачу иностранным гражданам разрешений на работу.

Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации в течение месяца распределяет квоты по субъектам Российской Федерации (кроме того, оно утверждает также перечень профессий (специальностей, должностей) иностранных граждан – квалифицированных специалистов, трудоустраивающихся по имеющейся у них профессии (специальности), на которых квоты не распространяются) (см. рисунок).

Динамика объемов установленных квот в Республике Татарстан имеет тенденцию к снижению. В 2007 г., когда происходил процесс легализации трудовых мигрантов, для Республики Татарстан была установлена квота в количестве 68,7 тыс. разрешений на работу для иностранных работников. В 2008 г. квота принята на 42,5 тыс., на 2009 г. утвержденная квота 52,3 тыс. разрешений на работу в конце года была сокращена до 38 тыс. чел. Причиной сокращения тогда в основном был кризис, который обострил ситуацию на рынке труда. На 2010 г. квота сокращена до 29,9 тыс., на 2011 г. – до 27,1 тыс., на 2012 г. – до 26,5 тыс.

На практике привлекают иностранную рабочую силу менее 1% работодателей.

Во-первых, процедура привлечения иностранных работников требует постоянного изучения часто меняющейся нормативной базы и, соответственно, ее выполнения.



Порядок определения в Республике Татарстан потребности в привлечении иностранных работников и подготовки предложений по объемам квот

Во-вторых, требуются финансовые затраты работодателей на привлечение мигрантов – за подбор кадров соответствующим агентствам, транспортные расходы – на практике это обходится в среднем в 30 тыс. руб. за каждого работника. За привлечение работников из дальнего зарубежья работодатель платит госпошлину в размере 6,0 тыс. руб. за каждого работника.

В-третьих, работодатель несет ответственность за работника – к примеру, за несвоевременность уведомлений целого перечня органов или за осуществление контроля над местом жительства работника.

В Российской Федерации каждым ее субъектом ежегодно осуществляется оценка эффективности использования иностранной рабочей силы за предыдущий год по методике, утвержденной приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 17.09.2007 г. № 604.

Для ее подготовки Республикой Татарстан анализируются данные различных министерств и ведомств.

Так, по данным статистики, за 2010 г. вклад иностранных работников в экономику республики составил 11,5 млрд руб.

Численность получивших разрешения на работу иностранных работников в 2010 г. в Республике Татарстан составила 11 553 чел. Потребность работодателей (по заявкам) составляла на 2010 г. 29 900 чел.

Таким образом, фактическая численность привлеченных иностранных работников была ниже потребности почти в 2,6 раза.

В целом по Республике Татарстан в 2010 г. доля иностранных работников в численности занятых составила 0,64%.

Наибольший удельный вес иностранных работников в численности занятых по следующим видам экономической деятельности: «строительство» (3,82%), «предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг» (2,76%), «транспорт и связь» (0,74%) [5. С. 32-33].

Уровень преступности среди иностранных граждан ориентировочно несколько выше, чем в среднем по республике. Основным видом нарушений, допущенных иностранными гражданами, являются административные правонарушения миграционного законодательства.

Эффективное использование собственных трудовых ресурсов осложняется низкой территориальной мобильностью населения республики. Внутренняя миграция сдерживается сохраняющимся низким уровнем доходов населения, неразвитостью цивилизованного рынка жилья, высокими транспортными издержками, наличием административных барьеров при переезде в другую местность.

Места, предполагаемые для граждан как ближнего, так и дальнего зарубежья, не заполняются жителями республики.

На 2012 г. поступили заявки от 461 работодателя. Ими планировалось в 2012 г. привлечение 44 912 работников, в том числе 28 507 мигрантов из 8 стран с безвизовым порядком въезда и 16 405 чел. – из 53 стран дальнего зарубежья. Среди стран ближнего зарубежья почти половина работников планировалась к привлечению из Узбекистана, среди стран дальнего зарубежья – 75% граждан Турции. Средняя заработная плата на предлагаемых иностранным работникам местах в заявках составляла 11,9 тыс. руб.

В настоящее время в решении проблем в сфере миграционных отношений на рынке труда отсутствует системный подход, решаются лишь отдельные проблемные вопросы.

Не используются в полной мере механизмы переселенческой миграции: не уделяется должного внимания направлениям миграции с высокой отдачей – по привлечению и закреплению специалистов-профессионалов высокой квалификации и студентов; не выделяются средства на реализацию продекларированной политики по привлечению соотечественников; поток беженцев, на неэффективное управление которым в недавнем прошлом привлекались колоссальные объемы финансовых средств, в настоящее время искусственно сдерживается.

В механизмах временной трудовой миграции при реализации наиболее развитого (по сравнению с переселенческой миграцией) законодательства также возникает ряд проблем, порожденных несовершенством квотной системы привлечения иностранных работников и ее потенциальным противоречием с безвизовым пространством стран-участников СНГ [6. С. 84].

Оценка эффективности привлечения и использования труда иностранных граждан носит формальный характер, недостаточно используется мировой опыт по выбору критериев оценки.

С учетом проведенного анализа и выявленного круга проблем рекомендуется:

– в целях структурного решения проблем в сфере миграции первоначально принятие на федеральном уровне всесторонне взвешенной Концепции миграционной политики, которая должна быть увязана со всем комплексом базовых документов по национальной и экономической безопасности и служить вектором развития для достижения поставленных целей;

– активное взаимодействие федеральных органов власти и органов государственной власти субъектов Российской Федерации при решении миграционных вопросов – субъекты Российской Федерации не должны занимать выжидательную позицию, а предлагать свои решения, свои видения миграционной политики, федеральные органы власти должны рассматривать и анализировать предложения;

– внесение изменений в нормативно-правовые акты с целью устранения законодательных коллизий, создание нормативной базы для правового регулирования миграции, ее потоков, обустройства мигрантов, в частности закрепление за субъектами Российской Федерации нормы, позволяющей самостоятельно определять перечень работодателей, привлекающих иностранных работников;

– развитие механизмов привлечения и закрепления специалистов-профессионалов высокой квалификации и студентов;

– выделение средств федерального бюджета на привлечение соотечественников, проживающих за рубежом;

– введение постоянно действующего механизма оценки эффективности привлечения и использования труда иностранных граждан, включая, по опыту США, оценку недоиспользования труда квалифицированных мигрантов;

– формирование единого банка данных по существующим потокам мигрантов;

– разработка механизмов обустройства вынужденных мигрантов и контроль за их реализацией;

– ускорение работы по реализации проекта центров временного размещения мигрантов на территории России;

– обеспечение необходимых санитарно-эпидемиологических условий;

– финансово-экономическое обеспечение государственного регулирования миграционными процессами;

– проведение работы по воспитанию в населении России толерантности, искоренению ксенофобии в отношении мигрантов;

– создание условий для адаптации мигрантов на территории регионов Российской Федерации.

Литература

1. Демографическое развитие России в XXI веке / *Л.Л. Рыбаковский, В.Н. Архангельский, А.Е. Иванова и др.*; под ред. Г.В. Осипова, Л.Л. Рыбаковского. М.: Экон-Информ, 2009. 340 с.

2. О порядке определения исполнительными органами государственной власти потребности в привлечении иностранных работников и формирования квот на осуществление иностранными гражданами трудовой деятельности в Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 22.12.2006 г. № 783 // Российская газета. 2006. № 4263, 31 дек.

3. О правовом положении иностранных граждан в Российской Федерации: Федеральный закон от 25.07.2002 № 115-ФЗ [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-прав. системы КонсультантПлюс.

4. О правовом статусе трудящихся-мигрантов и членов их семей: соглашение Правительства РФ, Правительства Республики Беларусь и Правительства Республики Казахстан от 19.11.2010 г.: ратифицировано Федеральным законом от 25.07.2002 № 115-ФЗ [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-прав. системы КонсультантПлюс.

5. Решение постоянно действующей межведомственной рабочей группы по вопросам гармонизации межэтнических отношений в Республике Татарстан № 1 от 12.08.2011 г. Казань, 2011.

6. *Тюрюканова Е.* Регуляризация работников-мигрантов и предотвращение найма трудовых мигрантов с неурегулированным статусом в Российской Федерации // Регуляризация и санкции против работодателей как инструменты в деле эффективного управления трудовой миграцией. Российская Федерация и опыт зарубежных стран. М.: МОТ, 2009.

РУБЦОВ ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ – доктор географических наук, профессор кафедры социально-культурного сервиса и туризма, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (Vladimir.Rubtzov@ksu.ru).

RUBTSOV VLADIMIR ANATOLYEVICH – doctor of geographical sciences, professor of Social and Cultural Service and Tourism Chair, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan.

МУСТАФИН МАРАТ РАФАЭЛЬЕВИЧ – кандидат географических наук, доцент кафедры теории и методики географического образования, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (sdk-bink@mail.ru).

MUSTAFIN MARAT RAFAELYEVICH – candidate of geographical sciences, associate professor of Geography Education Theory and Methodology Chair, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan.

БИКТИМИРОВ НИЯЗ МИННАХМАТОВИЧ – кандидат географических наук, доцент кафедры теории и методики географического образования, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (Niyaz825@mail.ru).

BIKTIMIROV NIYAZ MINNAKHMATOVICH – candidate of geographical sciences, associate professor of Geography Education Theory and Methodology Chair, Kazan Federal (Volga Region) University, Russia, Kazan.

АХУНЗЯНОВА ГУЛЬНУР РАСИХОВНА – аспирантка кафедры социально-культурного сервиса и туризма, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, Казань (Vladimir.Rubtzov@ksu.ru).

AKHUNZYANOVA GULNUR RASIKHOVNA – post-graduate student of Socio-Cultural Service and Tourism Chair, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia, Kazan.

КИБАРДИНА ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА – начальник отдела анализа и прогнозирования рынка труда, Министерство труда, занятости и социальной защиты Республики Татарстан, Россия, Казань (sdk-bink@mail.ru).

KIBARDINA ELENA MIKHAYLOVNA - head of Labor Market Analysis and Forecasting Department, Ministry of Labour, Employment and Social Protection of the Republic of Tatarstan, Russia, Kazan.

ББК У040.2
УДК 325.111

З.А. ТРИФОНОВА

ОСОБЕННОСТИ ГОРОДСКОГО РАССЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОРОДОВ (на примере центров национальных республик и округов России)*

Ключевые слова: *города, система расселения, социокультурный потенциал, пространственно-динамический подход, индексная оценка.*

На основе пространственного и динамического подходов проведена типология систем городского расселения в 32 национальных субъектах России. Выявлены пути влияния уровня урбанизации и характера городского расселения на формирование компонентов социокультурного потенциала городов.

Z.A. TRIFONOVA

FEATURES OF CITY MOVING OF REGIONS AND ITS INFLUENCE ON FORMATION OF SOCIOCULTURAL CAPACITY OF THE CITIES (for example of the centers of the national republics and the districts of Russia)

Key words: *cities, moving system, sociocultural potential, spatial and dynamic approach, index assessment.*

The author of article allocated types of systems of moving on 32 national territories of Russia. Were used spatial approaches and dynamic. The author described ways of influence of an urban saturation and nature of moving on formation of components of sociocultural potential.

Несмотря на глобальный характер урбанизации, способствующей сглаживанию этнической специфичности и формирующей универсальные связи и отношения между людьми, особенности региональных систем городского расселения своеобразно формируют компоненты социокультурного потенциала их центров. В частности степень концентрации населения в центре системы расселения, как и численность населения, определяет набор учреждений социокультурной сферы, структуру и функциональные особенности действия таких институтов, как образование, культура, средства массовой информации и религия [4]. Кроме того, особенности и характер расселения населения в регионе определяют типы внутрирегиональных миграций (село–город, город–город), уровень сельских и городских различий в образе жизни людей, что способствует дифференциации качественных характеристик человеческих ресурсов.

Рассмотрим это на примере национальных субъектов, отличающихся уровнем урбанизированности, характером развития городских систем расселения, но в то же время имеющих общие черты. Во-первых, урбанизированность титульных народов, формирующих национальные республики и округа, началась позже, чем в среднем по Рос-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ (проект № 12-32-01037).

сии. В большинстве из них городское население динамично увеличивалось лишь в 1970–1980-х гг. Во-вторых, демографические и миграционные процессы содействовали постепенной концентрации титульных народов в городах, особенно в центрах национальных территорий. Вопрос состоит в том, *каким образом сложившиеся особенности расселения повлияли на формирование социокультурного потенциала центров национальных субъектов России.*

Цель исследования – определение типов урбанизации в национальных субъектах России и выявление особенностей формирования социокультурного потенциала центров систем расселения.

Методы исследования. Эволюцию расселения в национальных образованиях России следует рассматривать в контексте многомерной концепции урбанизации, согласно которой динамика развития в разных группах поселений не совпадает и зависит от совокупности факторов [2]. Это позволит, учитывая разновременные периоды прохождения определенных фаз урбанизации, корректно провести типологию региональных систем расселения. Для выделения типов урбанизации мы предлагаем использовать сочетание двух подходов, позволяющее представить типы, адекватные действительности. Этот подход мы называем *пространственно-динамическим*. Применяя пространственный подход, можно выделить высоко-, средне- и низкоурбанизированные (или периферийные) регионы на основе расчетов интегрального индекса урбанизации территорий. Для решения задачи все абсолютные величины, характеризующие урбанизацию в регионе, были сведены к относительным показателям, а затем были пересчитаны как отношение к средним величинам по каждому из 7 показателей. Для анализа использовались следующие характеристики урбанизации: удельный вес городских жителей, густота городских поселений, средняя людность городов, уровень концентрации городского населения в столицах, количество агломераций, доля крупногородского населения, доля малых городов. В результате были получены индексы показателей урбанизации, а многомерная задача была сведена к одномерной. Сведенные величины позволяют получить единую величину по каждому региону, рассчитанную как их среднее значение.

В свою очередь, теория дифференцированной урбанизации [5] позволяет рассмотреть эти же регионы с позиций динамики численности городских поселений разных категорий (большие, средние, малые города и сельские поселения). Динамику урбанизированности исследуемых регионов удобно рассматривать в разрезе межпереписных периодов с 1939 по 2010 г. Каждый период имел свою специфику, определенную различным характером урбанизации: все они со временем замедлялись, но скорость этого замедления в разные периоды и в разных регионах отличалась. Построение графиков, отражающих динамику численности населения в сельских поселениях, малых и средних городах, а также в больших городах, позволяет определить характер эволюции системы расселения и ее уровень развития, одновременно выделив схожие черты в исследуемых регионах и проведя их группировку.

Отметим, что урбанистическая структура регионов, описываемая с помощью показателя людности городов, остается надежным и корректным индикатором, позволяющим зафиксировать изменения в системах расселения.

Выявленные схожие динамические изменения в различных системах, в свою очередь, выступают дополнительным индикатором типологии систем расселения. Типология городских систем расселения позволяет дифференцированно подходить к анализу формирования социокультурного потенциала муниципальных образований. С учетом того, что под социокультурным потенциалом города мы понимаем *совокупность качественных характеристик человеческих ресурсов и ресурсов культурных институтов, удовлетворяющих потребности населения, способствующих интеграции и воспроизводству культурного пространства города и региона*, важно определить условия формирования человеческих ресурсов центрального города в национальных субъектах России [3, 4]. Процессы развития центральных городов, формирования городских аг-

ломераций качественно меняют характер действия культурных институтов. Уровень урбанизации, в частности ее качественные аспекты, оказывается важным условием формирования социокультурного потенциала. Повышение роли городов и городских стандартов в жизни общества определяет качество человеческих ресурсов, их эффективное взаимодействие с культурными институтами.

Результаты исследования. В 32 национальных образованиях начала 2000-х гг. (включая автономные округа, вошедшие в состав краев) насчитывается 195 городов. Из них 47 получили городской статус еще до XX в. Старые города имеются в 14 национальных республиках России. Относительно высокий их удельный вес (50% от общего числа городов в республиках) характерен для Мордовии, Чувашии, Марий Эл и Адыгеи (в Адыгее насчитывается всего два города). В свою очередь, в 18 национальных образованиях вообще отсутствуют старые города, а их системы городского расселения отличаются относительной молодостью формирования. К ним относятся все автономные округа, а также сибирские республики, за исключением Якутии, Бурятии и Северо-Кавказские республики, за исключением Чечни, Дагестана и Адыгеи.

В целом в период ранней урбанизации XIX – начала XX вв. численность сельского населения росла быстрее городского. Демографические процессы не создавали условий массового «выброса» избыточного сельского населения в города. В XX в. сеть городов страны существенно изменилась, более чем в 2,5 раза увеличилось количество городов. Если по переписи населения 1897 г. в границах современной России было 430 городов и 37 посадов, то, по данным переписи 2002 г. – 1098 городов и 1842 поселка городского типа. К 2010 г. в стране было 1100 городов. Две трети российских городов образовалось в XX в. В первой половине XX в. в автономных республиках вновь создавались города, в том числе столицы (Нальчик, Кызыл, Черкесск, Ижевск, Элиста, Горно-Алтайск). Всего в годы довоенной индустриализации на исследуемых территориях образовалось 38 новых городов. Как правило, они вырастали из поселков городского типа или из крупных сел благодаря имеющимся в них отдельным производствам, впоследствии ставшим градообразующими предприятиями. Обычно эти предприятия занимались переработкой местного сырья (Моздок – центр сельскохозяйственной переработки, Томмот – центр горнодобычи, Можга – центр химической промышленности). Особенностью географического положения новых городов была их ориентация на железную дорогу. Из 38 городов, образованных в довоенное время, 25 выросло из железнодорожных полустанков и станций. По классификации Г.М. Лаппо, города, развивавшиеся из пристанционных участков для освоения местных ресурсов, относятся к типу *ресурсных городов* [1]. Подчеркнем, что именно этот тип городов преобладал в довоенный период. В силу того, что сельское население административно было привязано к селу (у крестьян не было паспортов), население городов росло медленно. Массовые миграции в города национальных республик начались позднее и связаны с двумя волнами, переселением городских жителей, специалистов из центральных областей России и переселением сельских жителей, представляющих титульные народы своих республик. В республиках Поволжья, Урала и европейского Севера массовые миграции начались в 1950–1960-е гг., а на Северном Кавказе позже в 1970–1980-е гг.

Процесс образования городов не был прерван войной. Размещение эвакуированных предприятий и перестройка в связи с войной народного хозяйства стали основанием для возникновения новых городских центров. Всего в годы войны в республиках страны возникло 10 городов, а по всей России – 55. Послевоенная индустриализация способствовала росту количества городов не только в северных и восточных регионах страны, но и на староосвоенных территориях. С 1945 по 1990 г. в стране возникло более 500 городов, в том числе 77 – в исследуемых регионах. Так, в автономных округах практически все города были образованы во второй половине XX в. Больше половины городов возникло в Коми, Чечне, Ингушетии, Северной Осетии, Хакасии, Кабардино-Балкарии, Туве, Буря-

тии, Карачаево-Черкессии, Калмыкии. Все это указывает на то, что системы расселения в исследуемых регионах еще достаточно молоды.

В республиках Урало-Поволжья сеть городов совершенствовалась в основном за счет строительства предприятий машиностроения, химической или лесной и пищевой промышленности. Чаще всего города либо формировались на базе одного крупного предприятия, получая при этом монопрофильную структуру и превращаясь в специализированные центры страны, либо вырастали из сельскохозяйственного окружения, обретая функции центральных мест. По сценарию первого случая возникли Нижнекамск в Татарии и Новочебоксарск в Чувашии. Особенно много городов ресурсного типа и городов-центральных мест возникло в Башкирии.

Историко-географический анализ эволюции систем расселения в национальных субъектах России важен для итоговой типологии, так как позволяет на качественном уровне завершить корректное распределение республиканских систем расселения на соответствующие типы и подтипы. В ходе оценки суммарного индекса урбанизации регионы со сравнительно молодой сетью городского расселения оказались в группе среднеурбанизированных систем (таблица).

Типы урбанизированных систем

Среднеурбанизированные системы расселения с величиной индекса более 1	Низкоурбанизированные (периферийные) системы расселения с величиной индекса менее 1
Республика Северная Осетия – 1,66	Ямало-Ненецкий АО – 0,96
Республика Ингушетия – 1,66	Республика Коми – 0,96
Республика Татарстан – 1,53	Республика Тыва – 0,94
Чувашская Республика – 1,41	Таймырский АО – 0,93
Республика Кабардино-Балкария – 1,37	Коми-Пермяцкий АО – 0,93
Республика Удмуртия – 1,31	Республика Дагестан – 0,9
Республика Башкортостан – 1,31	Республика Хакасия – 0,84
Республика Чечня – 1,29	Республика Якутия – 0,83
Республика Адыгея – 1,17	Ненецкий АО – 0,8
Республика Мордовия – 1,14	Республика Калмыкия – 0,77
Республика Карачаево-Черкессия – 1,13	Еврейская АО – 0,76
Республика Марий Эл – 1,09	Республика Алтай – 0,74
Республика Карелия – 1,05	Ханты-Мансийский АО – 0,71
Республика Бурятия – 1,04	Чукотский АО – 0,67
	Агинский Бурятский АО – 0,21
	Корякский АО – 0,2
	Эвенкийский АО – 0
	Усть-Ордынский бурятский АО – 0

Среди них выделим республики Северного Кавказа, за исключением Дагестана, Башкирию, Бурятию, Туву, Хакасию, Алтайскую республику и все автономные округа России. Находясь в группе среднеурбанизированных систем расселения, по результатам индексной оценки реально они занимают промежуточное положение в типологии. В первую очередь это связано с тем, что сеть городов этих регионов довольно молодая.

В отличие от вышеперечисленных субъектов высокой структурированностью сети городов отличаются Татарстан, Чувашия, Мордовия, Марий Эл и Удмуртия, имеющие сформированные группы больших, средних и малых городов. Анализ динамики темпов прироста населения по объединенным группам согласно категориям городских, а также сельских поселений по межпереписным периодам с 1939–1959, 1959–1970, 1970–1979, 1979–1989, 1989–2002, 2002–2010 гг. показал четкое разделение векторов разных категорий городов, которое наблюдалось в прошлом и сохраняется в настоящее время. Обобщенно этот тип распределения можно представить в следующем виде (рис. 1).

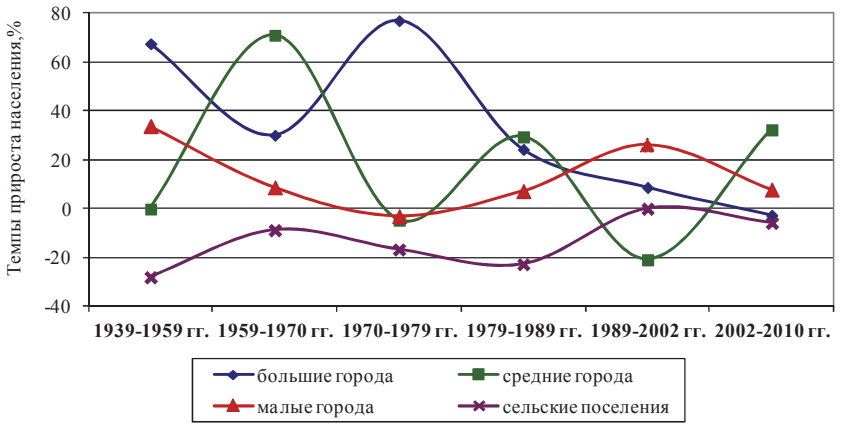


Рис. 1. Динамика численности населения для среднеурбанизированных систем расселения с дифференцированной урбанизацией

Для систем расселения этих республик характерно постепенное снижение темпов роста населения больших городов (в период 2002–2010 гг. наблюдалось абсолютное снижение численности населения), происходящее на фоне стабильных, а в ряде случаев растущих темпов роста населения средних или малых городов. Учитывая значения индекса урбанизации, превышающие 1, выделим их в тип *среднеурбанизированных систем расселения с подтипом дифференцированной урбанизацией*. Городская культура и городской образ жизни в этих республиках имеют значительный стаж из-за наличия старых городов. Качество человеческих ресурсов столиц этих республик определяется мигрантами из средних и малых городов, а также сельскими жителями. Доминирующий урбанизированный фон благоприятно сказывается на характеристиках трудовых ресурсов центрального города. Кроме того, сложившиеся агломерации вокруг столиц создают условия тесного взаимодействия культурных институтов и населения, а также усиливают как профессиональные, так и личностные, культурные социальные взаимодействия.

Наличие в системе расселения старых городов характерно также для Якутии, Коми и Дагестана, однако значения индекса урбанизации в этих республиках меньше 1. При этом Дагестан отличается преобладанием сельского населения, что не позволяет относить его систему расселения к типу среднеурбанизированных. Сравнение динамики населения по категориям городов, включая категорию сельских поселений, обнаружило их общую черту – сохраняющиеся положительные значения роста населения больших городов. При этом население категории средних городов непостоянно, в ряде межпереписных периодов оно исчезает. Это характерно для Якутии, а также для Карелии и Бурятии (средние города переходят в категорию малых). В Башкирии и Коми имеются средние города, но темпы прироста в них отрицательные. По совокупности схожих тенденций в эволюции систем расселения 5 вышеперечисленных республик относятся к типу *среднеурбанизированных систем расселения с концентрированным подтипом урбанизации* (рис. 2). Столицы этих республик также образуют агломерации, однако их население увеличивается за счет жителей сельских поселений и малых городов, тем самым ослабляя урбанистический потенциал человеческих ресурсов.

Группа низкоурбанизированных систем расселения (таблица) внутренне неоднородна, в ее составе имеются регионы с преобладанием городского населения или наоборот – сельского населения. Это послужило основанием для выделения двух подтипов с активной и пассивной урбанизацией.

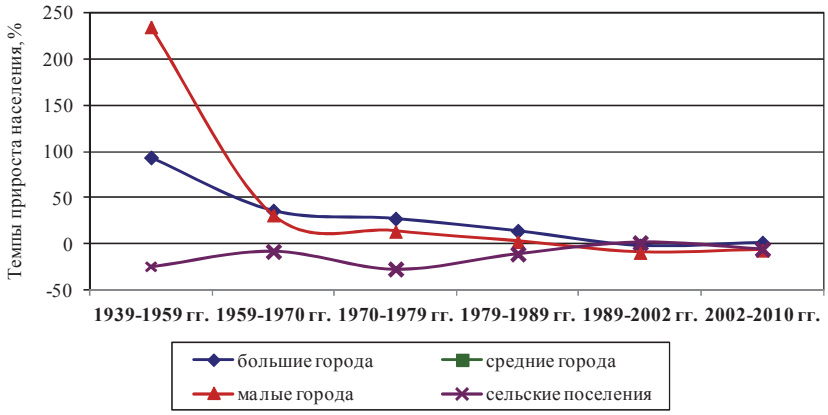


Рис. 2. Динамика численности населения для среднеурбанизированных систем расселения с концентрированным подтипом урбанизации

Тип *низкоурбанизированной (периферийной) системы расселения с активной урбанизацией* включает Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский, Ненецкий, Чукотский автономные округа, Еврейскую автономную область, Хакасию, Дагестан и Северную Осетию, в которых преобладает сеть молодых городов. В Дагестане и Северной Осетии имеются в основном старые города. Кроме того, Дагестан сохраняет преобладание численности сельских жителей над городскими, в 2002–2010 гг. он имел самые высокие темпы роста населения больших и средних городов, структурированную систему расселения, в которой выделяются все категории городов, все это позволяет отнести его к подтипу активной урбанизации. Все остальные автономные округа, а также республики Северного Кавказа, Алтай, Тува и Калмыкия образуют *подтип пассивной урбанизации*. В них преобладает сельское население, темпы роста которого остаются положительными, сеть городов слабоструктурирована, представлена 1-2 городами и поселками. В условиях доминирующего сельского фона стандарты городской культуры распространяются с трудом из-за того, что формирование ядра городской культуры в центрах систем расселения лишь началось.

Литература

1. *Лаппо Г.М.* Урбанизация в Европейской России: процессы и результаты // Город и деревня в Европейской России: сто лет перемен: монограф. сб. М.: ОГИ, 2001. С. 124-155.

2. *Нефедова Т.Г.* Поляризация городов и сельской местности и расширение российской периферии // Региональное развитие и региональная политика России в переходный период / под общ. ред. С.С. Артоболевского, О.Б. Глезер. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. С. 280-299.

3. *Трифонова З.А.* Оценка потенциала культурных институтов центральных городов России // Территориальная организация общества и управление в регионах: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2012. С. 243-247.

4. *Трифонова З.А.* Социокультурный потенциал города: методика определения, результаты оценки и модели использования в центрах национальных регионов России // Культурная и гуманитарная география. 2012. Т. 1, № 2. С. 175-179.

5. *Geyer H.S., Kontuly T.* A theoretical foundation of the concept of differ-rential urbanizetion // International Regional Science Review. 1993. Vol. 15, № 3. P. 157-177.

ТРИФОНОВА ЗОЯ АЛЕКСЕЕВНА – кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (zoyatrifonova@mail.ru).

TRIFONOVA ZOYA ALEKSEEVNA – candidate of geographical sciences, associate professor of Economic and Social Geography Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 911.52(470.344)
ББК Д821(2Рос.Чув)

О.А. ШЛЕМПА

СОВРЕМЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ ЧУВАШИИ*

Ключевые слова: *ландшафты, современные ландшафты, изменение ландшафтов, степень изменения ландшафтов.*

Дана характеристика современного состояния ландшафтов Чувашии. Установлено распределение площадей современных ландшафтов по физико-географическим районам. Определены уровень антропогенных изменений по степени сохранности биоценозов и соотношение природной и антропогенной составляющих в ландшафтах.

O.A. SHLEMPA

CONTEMPORARY LANDSCAPES OF CHUVASHIA

Key words: *landscapes, contemporary landscapes, changing landscapes, the degree of landscape change.*

The characteristic of the modern state of landscapes Chuvashia. Established distribution of areas of modern landscapes on physical and geographical areas. Determine the level of human-induced changes in the degree of preservation of biocenosis and the ratio of the natural and anthropogenic components in landscapes.

Ландшафты, являясь средой жизни и деятельности человека, источником ресурсов для его существования, постоянно меняются. Состояние ландшафтов определяется несколькими одновременно протекающими и наложенными друг на друга процессами. К ним относятся новейшие и современные вертикальные движения земной коры, изменения климата и зависящие от них колебания уровней водоемов, а также возрастающее воздействие на ландшафт человека. Для рационального использования, преобразования и охраны ландшафтов важно знать тенденции их развития, последовательность и скорость изменений, а также причины, их вызывающие.

Хозяйственная деятельность привела к появлению антропогенных модификаций природных ландшафтов, получивших различные названия – антропогенные ландшафты, техногенные, природно-антропогенные, культурные, окультуренные и др. Л.П. Шубаев предложил назвать сочетание естественных и изменённых человеком ландшафтов современными ландшафтами [9. С. 425]. Согласно мнению Э.П. Романовой, под современными ландшафтами следует понимать «сложные геосистемы, состоящие из взаимодействующих природной и антропогенной подсистем, каждая из которых развивается под действием определенных факторов» [7. С. 105]. Н.Н. Алексеева современными ландшафтами считает «участки земной поверхности со структурно-упорядоченным сочетанием природных и хозяйственных компонентов, которые благодаря тесному взаимодействию образуют относительно целостные и устойчивые во времени территориальные системы» [1. С. 145].

Природная основа современных ландшафтов Чувашии сформировалась в среднем голоцене в атлантическую климатическую эпоху VI – середина III тыс. до н.э. В этот период территория Чувашской Республики располагалась в пределах двух природных зон. Северную часть республики – Заволжье и Приволжье – занимала зона смешанных лесов. Древесная растительность была представлена широколиственными породами. Из хвойных произрастали сосна и ель. Основная часть территории республики располагалась в зоне широколиственных лесов. Это были многоярусные леса из дуба, граба, вяза, липы, орешника [6]. В настоящее время Чувашия расположена в пределах лесной, лесостепной и степной природных зон.

Воздействие человека на ландшафт приводит к ускорению его динамики и развития. Роль человеческого фактора в этих процессах раскрывает история заселения и хозяйственного освоения территории Чувашии.

* Исследование выполнено по соглашению № 14.B37.21.0606 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Заселившие территорию Среднего Поволжья в эпоху раннего палеолита (80-40 тыс. лет назад) племена охотников, рыболовов и собирателей не могли существенно изменить ландшафт. Влияние человека на природу на территории современной Чувашии проявилось в конце III тыс. до н.э. в связи с проникновением на ее территорию племен балановской культуры. Это были первые в Среднем Поволжье земледельческо-скотоводческие племена, использовавшие для земледелия свободные от леса пространства. С увеличением численности населения получает распространение подсечно-огневое земледелие, приведшее к увеличению площади вторичных лесов. Сходный образ жизни вели абашевские племена, жившие на территории Чувашии с середины II тыс. до н.э. и до начала I тыс. до н.э. В течение бронзового века происходило антропогенное «остепнение» зоны широколиственных лесов. С VIII в. до н.э. по II в. до н.э. территорию Чувашии населяли племена ананьинской и городецкой культур, владевшие навыками обработки железа. Развитие металлургии, использование железных орудий труда привели к дальнейшему обезлесению территории.

Формирование булгарского союза племен в VIII в. привело к появлению плужного земледелия территории Чувашии и началу распашки луговых степей. В X в. междуречье Суры и Свияги было почти сплошь покрыто лесами. Преобладали дубовые и дубово-еловые леса. На песчаных почвах произрастали сосны. На средних по составу влажных почвах были еловые леса. В юго-западном и юго-восточном районах Чувашии были луговые степи.

Переселение части населения с территории современных Пензенской, Ульяновской областей, юго-западной части Татарстана и юго-восточной Чувашии на территорию северной и центральной Чувашии из-за разгрома Волжской Булгарии в XIII в. монголо-татарами вызвало усиление расчистки лесов под пашню, а юго-восточная часть Чувашии превратилась в «дикое поле». После вхождения Чувашии в состав России происходит массовое заселение юго-восточных и южных районов Чувашии в конце XVI – начале XVII вв., в результате которого к началу XVIII в. дикого поля (свободных земель) практически не осталось [5].

Сравнительный анализ карт плотности археологических памятников и ландшафтной карты показывает, что вплоть до XVII в. во всех физико-географических районах Чувашии наибольшей освоенностью отличались долины рек и ручьев с мелкоконтурной дифференциацией ландшафтов. Это объясняется значительной ландшафтной неоднородностью указанных природных комплексов, создающей условия для разнообразной хозяйственной деятельности. В то же время сравнительно слабоосвоенными были приводораздельные лесные ландшафты и лесные ландшафты водораздельных массивов.

В конце первой четверти XVIII в. началась широкая эксплуатация лесов Чувашии, вызвавшая сокращение их площади и одновременно увеличение площади пашни и неудобий, покрытых кустарником. Продолжалось сокращение площади лугов, которые распахивались (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение площадей угодий на территории Чувашии в конце XVIII – середине XIX в., %

Период	Леса	Пашня	Сено-косы	Усадебные земли	Неудобья
Конец XVIII в. [4]	49	40,37	6	1,55	3,08
Середина XIX в. [3]	40	45	4,5	3,5	6

Массовое сокращение лесных площадей произошло после реформы 1861 г. в связи с развитием промышленного производства. В результате лесные приводораздельные и водораздельные ландшафты были полностью освоены и превращены в сельскохозяйственные угодья. Бесконтрольная рубка на территории республики продолжалась до окончания гражданской войны и к 1926 г. площадь лесов составила всего 538 тыс. га [8. С. 5].

В связи с переходом в середине XVIII в. на трехпольную систему земледелия, которая господствовала и в начале XX в., началась распашка суходольных лугов, находившихся на водораздельных пространствах и склонах. Распахивались склоны балок, целина вдоль рек, что привело к возникновению большого количества новых

оврагов, размеры которых ежегодно увеличивались. Сокращалась площадь пашни и усиливалась дренированность территории.

В настоящее время территория Чувашской Республики отличается высокой степенью хозяйственного освоения. Республика занимает четвертое место в России по плотности населения. Природно-территориальные комплексы испытывают значительную антропогенную нагрузку и меняют свои свойства. В зависимости от степени преобразования природные комплексы подразделяются на две категории: природно-антропогенные ландшафты и условно-коренные. В свою очередь, природно-антропогенные ландшафты подразделяются на три группы – вторично-производные (вторичные леса), антропогенно-модифицированные (пашня и кормовые угодья) и техногенные (города и водохозяйственные комплексы). В связи с тем, что территории Присурского заповедника и национального парка «Чăваш вăрманĕ» были ареной активной хозяйственной деятельности, отнести их к условно-коренным ландшафтам не представляется возможным.

По схеме физико-географического районирования Чувашской Республики [2] на ее территории выделяется десять физико-географических районов (ландшафтов) (рисунок).

1. *Заволжский ландшафт*. Занят в основном лесными массивами. Коренные породы перекрыты четвертичными аллювиальными и эоловыми отложениями. Преобладают песчаные подзолистые и болотные почвы. Лесистость достигает 90% с преобладанием сосновых лесов на песчаных почвах. Эрозионные процессы не проявляются. Сельскохозяйственные ландшафты отсутствуют из-за низких агрохимических показателей почв. До создания в 1995 г. природного парка «Заволжье» велись рубки главного пользования.

2. *Приволжский ландшафт*. Коренные породы представлены пермскими песчано-глинистыми красноцветными отложениями с прослоями известняков, мергелей, доломитов, перекрытых на большей части площади суглинками и глинами. Преобладают дерновые средне- и слабоподзолистые почвы. Густота эрозионного расчленения достигает 1,1 км/км. Более 54% площади распахано. Селитебные ландшафты занимают более 11% территории.

3. З*асурский левобережный ландшафт*. В основе его лежат элювиальные и пойменная террасы Суры. Вследствие равнинного слабопологого рельефа эрозионные процессы слабовыражены. Почвы дерново-, слабо- и среднеподзолистые. Наиболее высока доля лугов – превышает 23%.

4. *Сурско-Цивильский ландшафт*. Коренные породы водоразделов представлены юрскими глинами с прослоями песков. В долинах рек выходят пермские отложения. По густоте расчленения близок к Приволжскому ландшафту. Почвы дерново-подзолистые и серые лесные. По доле пашни 66,63% уступает только Кубня-Карлинскому ландшафту. Небольшие поселения занимают 7,4% площади, образуют такую же густую сеть, как и в Приволжском ландшафте.

5. *Межцивильский ландшафт*. Коренные породы юрские глины с прослоями известняков, мергелей, песков. Рельеф представляет пологую равнину. Интенсивность эрозионных



Картосхема ландшафтов Чувашии:
1 – Заволжский;
2 – Приволжский;
3 – Засурский левобережный;
4 – Сурско-Цивильский;
5 – Межцивильский;
6 – Цивиль-Кубнинский;
7 – Кубня-Карлинский;
8 – Присурский;
9 – Засурский остепнённый;
10 – Верхнебездненский

процессов невелика. Почвы темно-серые лесные, местами чернозём. По доли площади под населенными пунктами 9,1% уступает только Приволжскому ландшафту.

6. *Цивиль-Кубнинский ландшафт*. Большей частью сложен породами пермской системы. В междуречьях и на юго-западе представлены юрские отложения. Почвы серые лесные, местами темно-серые лесные. Доля пахотных земель почти 60%. Сохранившиеся лесные массивы занимают более 18% площади.

7. *Кубня-Карлинский ландшафт*. Сложен юрскими глинами с прослоями известняков. Незначительное балочное расчленение. Преобладают черноземы выщелоченные. Доля пашни наиболее высокая – 69,24%. Площадь под населенными пунктами – 4,13% лишь немногим превышает долю таковой в Присурье. Крупные населённые пункты расположены в речных долинах.

8. *Присурский ландшафт*. Коренные меловые, юрские и пермские породы перекрыты чехлом четвертичных эоловых отложений. Эрозия слабо выражена. Преобладают песчаные скрытоподзолистые почвы. Сельскохозяйственные угодья располагаются на дерновоподзолистых и серых лесных почвах. Эрозия слаборазвита. По уровню лесистости – 78,15%, и доле лугов уступает только Заволжью. По распаханности и площади под населенными пунктами опережает только Заволжье.

9. *Засурский остепнённый ландшафт*. Сложен юрскими и меловыми глинами. Преобладают чернозёмы и серые лесные почвы. Минимальная лесистость – 7,62%. Населённые пункты расположены вдоль рек. Высок уровень распаханности – около 64%.

10. *Верхнебездненский ландшафт*. Сложен меловыми породами. Почвы темно-серые лесные слабосмытые и чернозёмы. По доле лугов – около 9% опережает только Присурье. Площадь пашни 44%.

Наибольшую площадь в республике занимают агроландшафты – 56,84% территории. При этом на долю пашни приходится 43,94% площади, а на долю кормовых угодий 12,9% – это луга в долинах рек (табл. 2) Наиболее высокая доля лесов в Заволжье – 90%, Присурском – 78,15% и Верхнебездненском – 42,47%. Эти же ландшафты отличаются наименьшей распаханностью и площадью населенных пунктов, что связано с низкой сельскохозяйственной освоенностью территории как в прошлом, так и в настоящем.

Таблица 2

Распределение площадей современных ландшафтов по физико-географическим районам

Ландшафт	Площадь		Лесотехнические		Агроландшафты				Техногенные			
			лес		луг		пашня		селитебные		водные	
	км^2	%	км^2	%	км^2	%	км^2	%	км^2	%	км^2	%
Заволжье	400	2,19	360	90	37	45 901	-	-	3	0,75		
Приволжье	2994	16,33	555	18,5	475	16,33	1631	54,07	333	11,1		
Засурский левобережный	150	0,82	44	20,3	35	23,3	64	42,07	7	4,7		
Сурско-Цивильский	2140	11,66	208	9,71	348	16,26	1426	66,63	158	7,4		
Межцивильский	1000	5,46	110	11	211	21,1	588	58,8	91	9,1		
Цивиль-Кубнинский	2844	15,5	533	18,74	4,6	14,63	1698	59,7	197	6,93		
Кубня-Карлинский	1850	10,08	246	13,29	206	11,14	1281	69,24	117	4,13		
Присурье	5317	28,98	4155	78,15	381	7,11	567	10,68	214	4,06		
Засурский остепнённый	1128	6,14	86	7,62	240	21,23	721	63,92	82	7,13		
Верхнебездненский	101	1,04	81	42,47	17	8,92	84	43,98	8	4,63		
Итого	18 014	98,2	6378	34,77	2366	12,9	8060	43,94	1210	6,6	331	1,8

Степень сохранности биоценозов позволяет выявить уровень антропогенных изменений в современных ландшафтах (табл. 3).

Таким образом, ландшафты, сформировавшиеся на территории Чувашии, за историческое время претерпели значительные изменения. Хозяйственное воздействие вызвало значительное изменение качественного и количественного состава их компонентов. Основными факторами, меняющими облик первичных ландшафтов, явля-

ются высокая плотность населения, урбанизация, строительство промышленных и гражданских объектов, прокладка транспортных коридоров, развитие сельского и лесного хозяйства. Воздействие в первую очередь антропогенных факторов привело к преобразованию былых ландшафтов Чувашии.

Таблица 3

Соотношение природной и антропогенной составляющих в ландшафтах Чувашии и коэффициент антропогенного нарушения

Ландшафт	Природная составляющая, % к площади ландшафта	Антропогенная составляющая, % к площади ландшафта	Степень изменения	Коэффициент антропогенного нарушения
Заволжье	99,25	0,75	слабо	0,01
Приволжье	34,83	65,17	значительно	0,7
Засурский левобережный	43,6	56,04	умеренно	0,6
Сурско-Цивильский	21,37	78,63	сильно	0,8
Межцивильский	32,1	67,9	значительно	0,7
Цивиль-Кубнинский	33,37	66,63	значительно	0,7
Кубня-Карлинский	24,43	75,57	сильно	0,8
Присурье	85,26	14,74	слабо	0,1
Засурский остепнённый	28,85	71,15	значительно	0,7
Верхнебездненский	51,39	48,61	умеренно	0,5

Хвойные леса Заволжья и Присурья стали смешанными с возросшей долей мелколиственных пород. Затоплены пойма и первая надпойменная терраса Волги, низовья Суры. Уничтожение естественной растительности и превращение территории в сельскохозяйственные угодья привели к усилению эрозии почв. Площади эродированных земель по районам колеблются от 40 до 80%. Наиболее изменились Сурско-Цивильский и Кубня-Карлинский ландшафты с черноземными и серыми лесными почвами, наименее – Заволжский и Присурский ландшафты с песчаными подзолистыми почвами, обладающими низкими агрохимическими показателями почв. Из-за высокой степени хозяйственной освоенности территории республики ландшафтов, не испытавших прямого воздействия хозяйственной деятельности человека, не сохранилось.

Литература

1. *Алексеева Н.Н.* Современные ландшафты зарубежной Азии. М.: ГЕОС, 2000. 414 с.

2. Атлас сельского хозяйства Чувашской АССР. М.: ГУГК, 1974.

3. *Григорьев Т.Г.* Некоторые данные об экономическом развитии Чувашии в пореформенный период // Материалы по истории ЧАССР. Чебоксары, 1956. Вып. 2. С. 5-31.

4. *Димитриев В.Д.* Чувашия в конце XVIII – начале XIX веков (по материалам генерального межевания) // Чувашия в эпоху феодализма (XVI – начале XIX вв.). Чебоксары: Чуваш. кн. изд-во, 1986. С. 384-353.

5. *Димитриев В.Д.* К вопросу о заселении юго-восточной и южной частей Чувашии // Чувашия в эпоху феодализма (XVI – начале XIX вв.). Чебоксары: Чуваш. кн. изд-во, 1986. С 294-325.

6. *Муратова М.Е., Суетова И.А., Бурашникова Г.А., Кроличенко Е.И.* Климат и растительные зоны на территории СССР 5-6 тыс. лет назад // Природа. 1980. № 7. С. 42-45.

7. *Романова Э.П.* Современные ландшафты Европы (без стран Восточной Европы). М.: Изд-во Моск ун-та, 1997. 312 с.

8. *Ульев А.П.* Леса государственного значения Чувашской Республики как источник сырья для деревообрабатывающей промышленности. Чебоксары, 1927. 65 с.

9. *Шубаев Л.П.* Общее землеведение. М.: Высш. шк., 1977. 455 с.

ШЛЕМПА ОЛЕГ АНАТОЛЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (shlempa@rambler.ru).

SHLEMPA OLEG ANATOLYEVICH – senior teacher of Physical Geography and Geomorphology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.318.3
ББК 31.264

Е.В. АРХИПОВА, Н.В. РУССОВА, Г.П. СВИНЦОВ

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА БРОНЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ВНЕДРЯЮЩИМИСЯ ЯКОРЯМИ

Ключевые слова: *электромагнит, проектирование, теория подобия и планирования эксперимента, критерии оптимальности.*

Критически проанализированы известные подходы и методики проектного расчета электромагнитов постоянного напряжения, что позволило предложить новую методику, в которой при выбранных основных соразмерностях в магнитной системе обоснованно определяется коэффициент запаса по магнитодвижущей силе. На основе результатов экспериментальных исследований предложено расчетное выражение коэффициента потерь магнитодвижущей силы в магнитной системе. Учтены зависимость коэффициента теплоотдачи от превышения температуры и эффективной площади охлаждения поверхности обмотки, режим работы электромагнита.

E.V. ARHIPOVA, N.V. RUSSOVA, G.P. SVINCOV

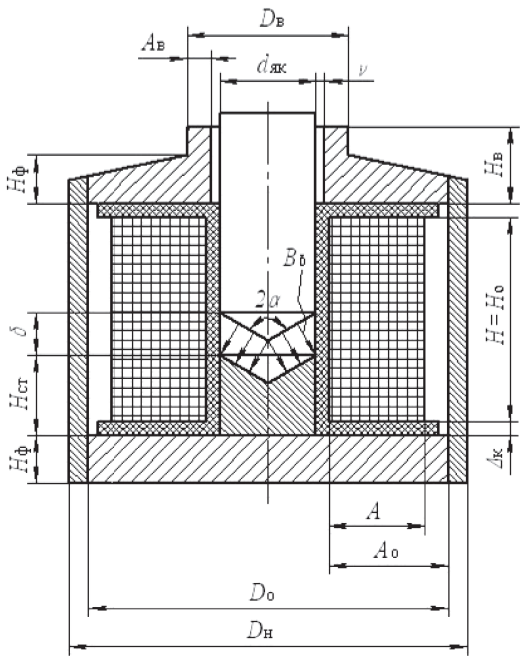
IMPROVED TECHNIQUE OF DESIGN CALCULATION OF ARMORED ELECTROMAGNETS OF DIRECT VOLTAGE WITH TAKING ROOT ARMATURES

Key words: *electromagnet, design, theory of similarity and experiment planning, criteria of an optimality.*

The known approaches and techniques of design calculation of electromagnets of direct voltage are critically analyzed. This allow to suggest a new technique, in which the depreciation factor on magnetomotive force for certain main proportionalities of magnetic system is defined. The design expression of magnetomotive force loss factor in magnetic system is offered on basic of experiment research. The dependence of heat-transfer coefficient from temperature excess and effective area of cooling of winding surface and electromagnet operating mode are considered.

Задачей проектного расчета приводного электромагнита (ЭМ) является определение его размеров, обеспечивающих, как минимум, требуемое в соответствии с техническим заданием тяговое электромагнитное усилие ($P_{эмт}$) при заданном положении (δ) исполнительного механизма (якоря) и превышении температуры нагрева обмотки не выше допустимого значения ($\tau_{доп}$) при оговоренном режиме его работы (рис. 1) [4, 8, 11, 14-16 и др.]. Для этого необходимо использование математических выражений: 1) электромагнитной силы, действующей на якорь; 2) магнитодвижущей силы (МДС) обмотки (F), связывающей геометрию и магнитное состояние ферромагнитных элементов магнитной системы (МС); 3) температуры нагрева ЭМ, связанной с геометрией МС, конструктивным исполнением катушки, МДС обмотки, режимом работы исполнительного механизма; 4) обмоточных данных ЭМ, связанных с размерами обмотки катушки ЭМ, МДС, напряжением (U) источника питания [4]. Задача проектировщика, разрабатывающего электромагнитный механизм, значительно упрощается при использовании им обобщенных и систематизированных методами теории подобия теоретических [14-16 и др.] и опытных [4, 16 и др.] данных. Отмечается невозможность одновременного обеспечения геометрического, магнитного и теплового подобия ЭМ [4, 15, 18 и др.]. Вместе с тем во всех упомянутых публикациях при

проектном расчете используются безразмерные представления определяющих геометрических размеров МС, индукции в наиболее нагруженном участке МС и тягового усилия [11, 14-16]. При представлении двух последних величин используются коэффициент теплоотдачи ($K_т$) и $\tau_{доп}$, характеризирующие тепловое состояние ЭМ, что противоречит положению о невозможности одновременного обеспечения трех видов подобия.



Магнитная система броневого электромагнита с обозначением основных размеров

В инженерной практике проектирования ЭМ широко распространен подход [4 и др.], основанный на использовании $K_ф$ – конструктивного показателя (фактора) и позволяющий установить габаритные размеры МС за счет выбора величины магнитной индукции (B_δ) в рабочем зазоре и отношения H/A. Однако эти рекомендации по выбору B_δ справедливы для $\tau_{доп} = 70^\circ$ С, условно полезной работы $A_{уп} = P_{эмт}\delta = 11{,}5$ кг·см при длительном режиме работы ЭМ. Эти обстоятельства сужают область применения данного подхода. Падение магнитного потенциала в ферромагнитных элементах и нерабочих зазорах МС учитываются путем недостаточно обоснованного выбора коэффициента потерь ($K_п$), который может изменяться [4] в пределах от 1,15 до 1,4. В методиках проектного расчета [4, 11, 14-16] не учитывается зависимость коэффициента теплоотдачи от эффективной площади охлаждения ($S_{охл}$) и $\tau_{доп}$ [2], его величина выбирается интуитивно.

Ниже предлагается методика проектного расчета, в целом свободная от отмеченных недостатков. Показатели ЭМ в значительной мере определяются [4, 8] геометрическими соразмерностями в МС: $A_* = A/d_{як}$; $H_* = H/d_{як}$; $\delta_* = \delta/d_{як}$; $H_{в*} = H_в/d_{як}$; $H_{ст*} = H_{ст}/H$, которые зависят от критериев оптимальности [11], условий и режима работы [14-16]. Обобщенные данные по оптимальным соразмерностям в МС броневых ЭМ приведены в [8, 11] и представлены в таблице.

Определяющие геометрические соразмерности в магнитных системах броневых ЭМ

Соразмерности	Короткоходовые	Длинноходовые
	$\delta_* \le 0{,}4$	$\delta_* > 0{,}4$
$A_* = A/d_{як}$	0,4 ÷ 0,5	0,3 ÷ 0,4
$H_* = H/d_{як}$	1,2 ÷ 2,5	1,8 ÷ 3,2
$H_{в*} = H_в/d_{як}$	0,3 ÷ 0,4	0,3 ÷ 0,4
$H_{ст*} = H_{ст}/H$	0,3 ÷ 0,5	0,0 ÷ 0,2
$\nu_* = \nu/d_{як}$	$(1{,}25 \div 5)\cdot 10^{-2}$	$(1{,}25 \div 5)\cdot 10^{-2}$
$\Delta_* = \Delta_к/d_{як}$	0,05 ÷ 0,15	0,05 ÷ 0,15
$A_{в*} = A_в/d_{як}$	0,1 ÷ 0,2	0,1 ÷ 0,2

Рассмотрим методику проектного расчета на примере короткоходовых ЭМ. Выражение для тягового электромагнитного усилия запишем в виде

$$P_{эмт} = \frac{B_\delta^2 S_{пр}}{2\mu_0}\sin\alpha, \qquad (1)$$

где $S_{пр}$ – приведенная по проводимости (Λ_δ) рабочего зазора площадь полюса.

Расчетная формула проводимости зазора заимствована из [4]:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 S_{\text{пр}}}{\delta \sin\alpha} = \mu_0 \pi d_{\text{як}} \left(\frac{d_{\text{як}}}{4\delta \sin^2\alpha} + \frac{0{,}75}{\pi} - \frac{0{,}157}{\pi \sin^2\alpha} + \lambda_{\text{бок}} \right) = \mu_0 \pi d_{\text{як}} X_{\text{к}}, \qquad (2)$$

где $\lambda_{\text{бок}}$ – удельная геометрическая проводимость выпучивания с боковой поверхности полюса уточнена [1].

Из выражения (2) определим $S_{\text{пр}}$, подставим его в (1) и, решив полученное уравнение относительно $d_{\text{як}}$, имеем:

$$d_{\text{як}} = \frac{1}{B_\delta \sin\alpha} \sqrt{\frac{2\mu_0 P_{\text{эмт}}}{\pi \delta_* \chi_{\text{к}}}}. \qquad (3)$$

Магнитодвижущая сила обмотки может быть записана в виде [4]:

$$F = (k B_\delta \delta \sin\alpha)/\mu_0, \qquad (4)$$

где $k = k_{\text{п}} k_{\text{зап}}$; $k_{\text{п}}$ – коэффициент потерь, учитывающий падение магнитного потенциала в нерабочих воздушных зазорах и в стали МС; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная вакуума.

Коэффициент запаса ($k_{\text{зап}}$) по МДС может быть определен по коэффициенту запаса (k_0) по тяговому электромагнитному усилию $k_{\text{зап}} = \sqrt{k_0}$ [8].

Допустимое превышение температуры нагрева обмотки определяется по формуле [2, 8 и др.]

$$\tau_{\text{доп}} = \frac{I^2 R_{\text{гор}}}{k_{\text{т}} S_{\text{охл}} n_{\text{р}}}, \qquad (5)$$

где I – ток в обмотке; $R_{\text{гор}}$ – электрическое сопротивление нагретой обмотки; $n_{\text{р}}$ – коэффициент перегрузки по мощности.

Выразив (5) через известное соотношение [4] для МДС обмотки, можно записать:

$$F^2 = \frac{\tau_{\text{доп}} k_{\text{т}} S_{\text{охл}} n_{\text{р}} k_{\text{з}} A_* H_* d_{\text{як}}}{\pi \rho_{\text{гор}} (1 + 2\Delta_* + A_*)}, \qquad (6)$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент заполнения обмоточного окна.

Возведем (4) в квадрат и, приравняв к выражению (6), получим уравнение, решение которого относительно B_δ^2 имеет вид:

$$B_\delta^2 = \frac{\tau_{\text{доп}} k_{\text{т}} S_{\text{охл}} n_{\text{р}} k_{\text{з}} \mu_0^2 A_* H_* d_{\text{як}}}{k^2 \delta^2 \sin^2\alpha \cdot \rho_{\text{гор}} \pi (1 + 2\Delta_* + A_*)}, \qquad (7)$$

где $S_{\text{охл}} = \pi d_{\text{як}}^2 H_* [(1 + 2\Delta_*)(1 + \beta) + 2A_*] = \pi d_{\text{як}}^2 S$; β – коэффициент, учитывающий различные условия теплоотдачи с боковых наружной и внутренней поверхностей обмотки.

Для расчета коэффициента теплоотдачи $k_{\text{т}}$ цилиндрических катушек в рекомендованы выражения:

$$k_{\text{т}} = \begin{cases} 2{,}1(1 + 0{,}005\tau_{\text{доп}}) / \sqrt[3]{S_{\text{охл}}} & \text{при } 10^{-4}\ \text{м}^2 < S_{\text{охл}} \le 175{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2; \\ 3{,}6(1 + 0{,}005\tau_{\text{доп}}) / \sqrt[5]{S_{\text{охл}}} & \text{при } 175{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2 < S_{\text{охл}} < 0{,}5\ \text{м}^2. \end{cases} \qquad (8)$$

Рассмотрим случай $S_{\text{охл}} \le 175{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2.

Преобразуем (7), учтя, что $k_{\text{з}} \approx 0{,}188 / d_{\text{як}}^{0{,}2}$ [8], а также соответствующее выражение из (8) к виду:

$$B_\delta^2 = Y_1 \frac{n_p}{k^2} \frac{(d_{\text{як}}^2)^{1/15}}{(\delta_* \sin\alpha)^2}, \qquad (9)$$

где $Y_1 = \dfrac{0{,}3948\mu_0^2}{\pi^{1/3}} \cdot \dfrac{(1 + 0{,}005\tau_{\text{доп}})\tau_{\text{доп}}}{\rho_{\text{гор}}} \cdot \dfrac{\sqrt[3]{[H_*[(1 + 2\Delta_*)(1 + \beta) + 2A_*]]^2}\, A_* H_*}{1 + 2\Delta_* + A_*}$.

Определим из выражения (10) $d_{як}$:

$$d_{як} = \left(\frac{B_\delta k \delta_* \sin\alpha}{\sqrt{Y_1 n_p}} \right)^{15}.$$

И с учетом последнего соотношения можем записать:

$$\delta_* = \frac{\delta}{d_{як}} = \left(\frac{\sqrt{Y_1 n_p}}{B_\delta k \delta_* \sin\alpha} \right)^{15} \delta. \qquad (10)$$

Для получения расчетного выражения для $k_п$ обратимся к результатам экспериментальных исследований. В [5] установлена зависимость φ как функция расчетной индукции (B_δ) в рабочем зазоре броневых электромагнитов с плоским стопом в графическом виде. При этом функция φ определена в безразмерной форме:

$$\varphi = \frac{F_\delta + F_{\delta_п}}{F}, \qquad (11)$$

где F_δ – падение магнитного потенциала в рабочем зазоре; $F_{\delta_п}$ – падение магнитного потенциала в нерабочих зазорах МС.

Поскольку B_δ определяется из условия обеспечения срабатывания ЭМ, можно записать:

$$F_{ср} = F_\delta + F_{\delta_п} + F_{ст} = F_\delta \left(1 + \frac{F_{\delta_п}}{F_\delta} + \frac{F_{ст}}{F_\delta} \right) = F_\delta k_п,$$

где $F_{ст}$ – падение магнитного потенциала в ферромагнитных элементах МС.

Представим (11) в иной форме:

$$\varphi = \frac{F_\delta (1 + F_{\delta_п} / F_\delta)}{F_\delta k_п} = \frac{k_{п\delta_п}}{k_п}, \qquad (12)$$

где $k_{п\delta_п} = 1 + F_{\delta_п} / F_\delta$ – коэффициент потерь в нерабочих зазорах МС.

На основании (12) можно записать так:

$$k_п = \frac{k_{п\delta_п}}{\varphi}. \qquad (13)$$

Аппроксимируем эмпирическую зависимость [5] для φ двумя ветвями параболы:

$$\varphi = \begin{cases} 0{,}915 - C_1 (B_\delta - 0{,}55)^2, \text{ при } B_\delta \le 0{,}55\text{Т}; \\ 0{,}915 - C_2 (B_\delta - 0{,}55)^2, \text{ при } B_\delta > 0{,}55\text{Т}, \end{cases}$$

где $C_1 = 0{,}938$ и определено по точке с координатами $B_\delta = 0{,}1$ Т, $\varphi = 0{,}725$; $C_2 = 0{,}298$ и определено по точке с координатами $B_\delta = 1{,}1$ Т, $\varphi = 0{,}825$.

При получении расчетного выражения для $k_{п\delta_п}$ будем полагать, что основная часть падения магнитного потенциала в нерабочих зазорах МС приходится на воздушный зазор (ν) воротничка. Тогда

$$k_{п\delta_п} = 1 + \frac{\sigma_в \chi_к \nu_*}{H_{в*}}, \qquad (14)$$

в котором $\sigma_в$ определяется соотношением [17]:

$$\sigma_в = 1 + \frac{\lambda_d H}{2\Lambda_\delta} \left(\frac{l_{якр}^2 - l_о^2}{H l_{кр}} \right),$$

где $l_{якр}$ – расчетная длина якоря; $l_{кр}$ – расчетная длина обмотки; $l_о = H - l_{кр}$; $\lambda_d \approx \dfrac{2\pi\mu_0}{\ln(1 + 2\Delta_* + 2A_*)}$ – удельная проводимость рассеяния по высоте обмотки [4 и др.].

Практика расчетов свидетельствует, что при начальном положении (δ) якоря $l_{кр} \approx H$, а $l_{якр} \approx H - H_{ст} - \delta$.

Поэтому выражение для $\sigma_в$ можно получить в виде

$$\sigma_в = 1 + \frac{H_*}{\ln(1 + 2\Delta_* + 2A_*)} \frac{(1 - H_{ст*} - \delta_* / H_*)^2}{\chi_к}. \quad (15)$$

Таким образом, выражение для $k_п$ может быть записано в виде

$$k_п = \frac{1 + \sigma_в \chi_к v_* / H_{в*}}{0{,}915 - C(B_\delta - 0{,}55)^2}. \quad (16)$$

Подставим выражение для k с учетом (16) в выражение (10) и, выполнив очевидные преобразования, получим

$$\delta_*^{\frac{16}{15}} (1 + \sigma_в \chi_к v_* / H_{в*}) \frac{B_\delta}{0{,}915 - C(B_\delta - 0{,}55)^2} = \frac{\sqrt{n_р Y_1}}{k_{зап} \sin\alpha} \delta^{\frac{1}{15}}. \quad (17)$$

Выразим из соотношения (3) B_δ и получим

$$B_\delta = a \sqrt{\frac{\delta_*}{\chi_к}}, \quad (18)$$

где $a = \sqrt{\frac{2\mu_0 P_{эмт}}{\pi\delta^2 \sin^2\alpha}} = k_ф \sqrt{\frac{2\mu_0}{\pi \sin^2\alpha}}$; $k_ф = \frac{\sqrt{P_{эмт}}}{\delta}$.

Таким образом, можно заключить, что (18) является функцией переменной δ_* и может быть представлена в виде

$$f_1(\delta_*) = \{\delta_*^{1{,}067} (1 + \sigma_в \chi_к v_* / H_{в*})\} \left[\frac{B_\delta}{0{,}915 - C(B_\delta - 0{,}55)^2} \right] - \frac{\sqrt{n_р Y_1}}{k_{зап} \sin\alpha} \delta^{0{,}067} = 0. \quad (19)$$

Аналогично для случая $S_{охл} > 175{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2 получено:

$$f_2(\delta_*) = \{\delta_*^{1{,}2} (1 + \sigma_в \chi_к v_* / H_{в*})\} \left[\frac{B_\delta}{0{,}915 - C(B_\delta - 0{,}55)^2} \right] - \frac{\sqrt{n_р Y_2}}{k_{зап} \sin\alpha} \delta^{0{,}2} = 0. \quad (20)$$

где $Y_2 = \frac{0{,}6768\mu_0^2}{\pi^{0{,}2}} \cdot \frac{(1 + 0{,}005\tau_{доп})\tau_{доп}}{\rho_{гор}} \cdot \frac{\left(H_*[(1 + 2\Delta_*)(1 + \beta) + 2A_*]\right)^{0{,}8} A_* H_*}{1 + 2\Delta_* + A_*}$.

Для кратковременного режима работы в случае, когда время включенного состояния ($t_{вкл}$) много меньше эквивалентной постоянной времени нагрева обмотки, получено

$$f_3(\delta_*) = \{\delta_*^{1{,}8} (1 + \sigma_в \chi_к v_* / H_{в*})\} \left[\frac{B_\delta}{0{,}915 - C(B_\delta - 0{,}55)^2} \right] - \frac{0{,}188\mu_0}{k_{зап} \sin\alpha} A_* H_* j \delta^{4/5} = 0, \quad (21)$$

где $j = \sqrt{\frac{c_{пр} \gamma_{пр} \tau_{доп}}{\rho_{гор} t_{вкл}}}$ – рекомендуемое [4, 11, 13, 14 и др.] расчетное выражение для плотности тока; $c_{пр}$ – удельная теплоемкость обмоточного провода; $\gamma_{пр}$ – удельный вес обмоточного провода; $\rho_{гор} = \rho_0(1 + \varepsilon_{пр}(\tau_{доп} + \theta_0))$ (θ_0 – расчетная температура окружающей среды).

Литература

1. *Архипова Е.В., Свинцов Г.П.* К расчету проводимости выпучивания с боковых поверхностей цилиндрических полюсов броневых электромагнитов // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. 2009. № 1. С. 75-79.

2. *Буткевич Г.В., Дегтярь В.Г., Сливинская А.Г.* Задачник по электрическим аппаратам: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1987. 237 с.

3. *Буткевич Г.В., Дегтярь В.Т., Сливинская А.Г.* Задачник по электрическим аппаратам: учеб. пособие для технических вузов. М.: Высш. шк., 1977. 199 с.

4. *Гордон А.В., Сливинская А.Г.* Электромагниты постоянного тока. М.; Л.: ГЭИ, 1960. 447 с.

5. *Казаков Л.А.* Учет потерь магнитодвижущей силы в электромагнитах постоянного тока // Электротехника. 1972. № 4. С. 44-49.

6. *Калиткин Н.Н.* Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.

7. *Коробков Ю.С.* Расчет электромеханических устройств электромагнитного типа. М.: ИД МЭИ, 2007. 52 с.

8. *Любчик М.А.* Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока (расчет и элементы проектирования). М.: Энергия, 1968. 152 с.

9. *Макарычев Ю.М., Рыжов С.Ю., Жидарева Т.П.* Проектирование электромагнитов: этапы, методы, модели // Электричество. 1994. № 2. С. 46-51.

10. *Никитенко А.Г.* Автоматизированное проектирование электрических аппаратов. М.: Высш. шк., 1973. 192 с.

11. *Никитенко А.Г.* Проектирование оптимальных электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1974. 135 с.

12. *Никитенко А.Г., Пеккер И.И.* Расчет электромагнитных механизмов на вычислительных машинах. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 275 с.

13. *Никитенко Ю.А., Любов Б.Н.* О выборе расчетного значения индукции в рабочем зазоре при проектировании электромагнитов постоянного тока // Электрические машины и аппараты: межвуз. сб. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1980. С. 93-97.

14. *Пеккер И.И.* Безразмерные характеристики для расчета броневого электромагнита, работающего в кратковременном режиме // Известия вузов. Сер. Электромеханика. 1959. № 7. С. 45-47.

15. *Пеккер И.И.* Определение размеров броневого электромагнита по заданным начальным параметрам с помощью безразмерных характеристик // Известия вузов. Сер. Электромеханика. 1959. № 5. С. 44-52.

16. *Пеккер И.И.* Опытные данные для выбора размеров броневых электромагнитов постоянного тока // Известия вузов. Сер. Электромеханика. 1961. № 12. С. 56-65.

17. *Софронов Ю.В., Свинцов Г.П., Николаев Н.Н.* Проектирование электромеханических аппаратов автоматики: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1986. 88 с.

18. *Шоффа В.Н.* Методы расчета магнитных систем постоянного тока. М.: МЭИ, 1998. 40 с.

АРХИПОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА – аспирантка кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (harvel@yandex.ru).

ARHIPOVA ELENA VLADIMIROVNA – post-graduate student of Electric and Electronic Vehicles Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

РУССОВА НАТАЛИЯ ВАЛЕРЬЕВНА – кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской части, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

RUSSOVA NATALIYA VALERYEVNA – candidate of technical sciences, chief of a research and development part, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СВИНЦОВ ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (eea_chuvsu@mail.ru).

SVINZOV GENNADIY PETROVICH – doctor of technical sciences, professor of Electric and Electronic Vehicles Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.313.315
ББК 31.231

А.А. АФАНАСЬЕВ, А.А. УЛЬЯНОВ

ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ПЕТЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Ключевые слова: *статические и динамические петли, внешнее магнитное поле, нелинейное уравнение.*

На основе дифференциального уравнения магнитного состояния фрагмента магнитопровода и известной его статической петли гистерезиса предлагается нелинейное уравнение, решение которого позволяет построить восходящую и нисходящую ветви динамической петли гистерезиса.

A.A. AFANASYEV, A.A. ULYANOV

CREATION OF DYNAMIC HYSTERESIS LOOPS OF ELECTROTECHNICAL STEEL

Key words: *static and dynamic loops, external magnetic field, nonlinear equation.*

It is proposed nonlinear relation based on differential equation of magnetic state of the magnetic core fragment and the known static hysteresis loop. Solution of nonlinear relation allows constructing ascending and descending branches of dynamic hysteresis loop.

Вид статических и динамических петель ферромагнитного материала определяется действием многих физических факторов [1, 2]. Современные вычислительные средства позволяют реализовать многофакторные математические модели, реализующие те или иные концепции явлений в магнитопроводящих материалах [3]. Заслуживают внимания подходы к описанию процессов перемагничивания ферромагнитных сердечников, базирующиеся на максимальном учёте опытных данных [4].

Согласно [4], динамическое магнитное состояние ферромагнитного материала описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dB}{dt} = r_m\left(1-\frac{B^2}{B_{sd}^2}\right)\left[H(t)-H_0(B)\right], \tag{1}$$

где $B(t)$, $H(t)$ – текущие значения магнитной индукции и напряженности магнитного поля в локальном элементе магнитной системы – координаты точки динамической петли гистерезиса; $H_0(B)$ – ветвь статической гистерезисной петли, которая зависит от времени t; B_{sd} – индукция магнитного насыщения динамической петли; $r_m = \dfrac{\gamma B_{sd}}{2}$ – максимальное динамическое сопротивление; $\gamma = 2{,}22\cdot10^5$ м/к – гиромагнитное отношение.

Формулу (1) запишем в следующем виде:

$$\int\limits_{-B_r}^{B} \frac{dB}{r_m\left(1-B^2/B_{sd}^2\right)} = \int\limits_0^t \left[H(t)-H_0(B)\right]dt = Q(B), \tag{2}$$

где B_r – остаточная индукция динамической петли.

Интеграл в левой части формулы (2) легко берётся

$$Q(B) = \frac{1}{\gamma}\left[K + \ln\frac{1+B/B_{sd}}{1-B/B_{sd}}\right], \tag{3}$$

где $K = \ln\dfrac{1+B/B_{sd}}{1-B/B_{sd}}$.

График зависимости $Q(B)$ показан на рис. 1.

Правую часть формулы (2) запишем так:

$$Q(B) + tH_0(B) = \int\limits_0^t H(t)dt. \tag{4}$$

Функция внешнего магнитного поля $H(t)$ известна. Допустим для примера

$$H(t) = H_m \sin(\omega t). \tag{5}$$

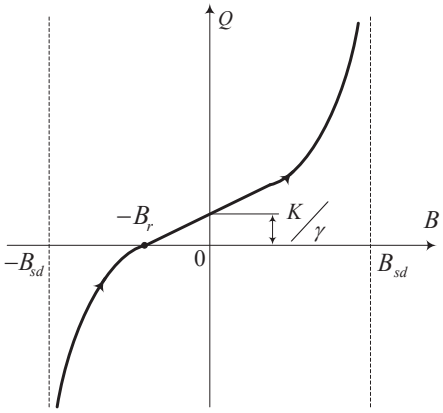


Рис. 1. График $Q(B)$
для восходящей ветви петли

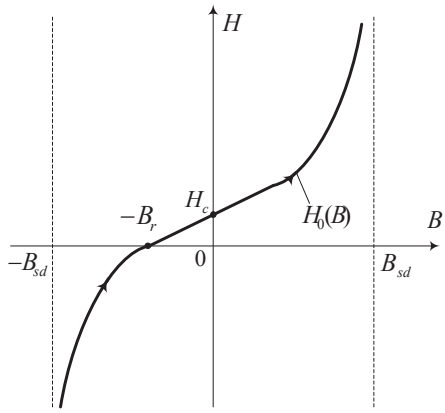


Рис. 2. Зависимость $H_0(B)$ – восходящая ветвь
опытной статической петли

Тогда

$$\int_0^t H(t)dt = \frac{H_m}{\omega}\left[1-\cos(\omega t)\right]. \qquad (6)$$

Для фиксированного B нужно найти t, для которого равенство (4) выполняется. Для этого t имеем $H = H(t)$. Получаем одну точку $B = B(t)$ восходящей ветви магнитной петли. Нижней части восходящей ветви ($B \le -B_r$) соответствуют отрицательные значения кривых $Q(B)$ и $H_0(B)$ (см. рис. 1 и 2). Но и внешняя зависимость $H(t)$ также будет иметь отрицательный знак, поэтому равенство (4), служащее для определения времени t, будет иметь прежнюю структуру.

Для нисходящей ветви петли справедливо:

$$Q(B) = \frac{1}{\gamma}\left[-K + \ln\frac{1+B/B_{sd}}{1-B/B_{sd}}\right]. \qquad (7)$$

Это выражение отличается от аналогичного (3) для восходящей ветви только знаком перед коэффициентом K. График $Q(B)$ показан на рис. 3.

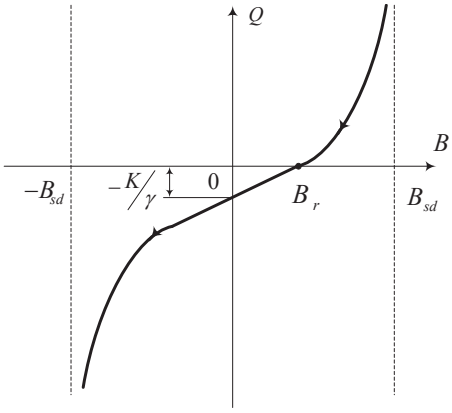


Рис. 1. График $Q(B)$
для нисходящей ветви петли

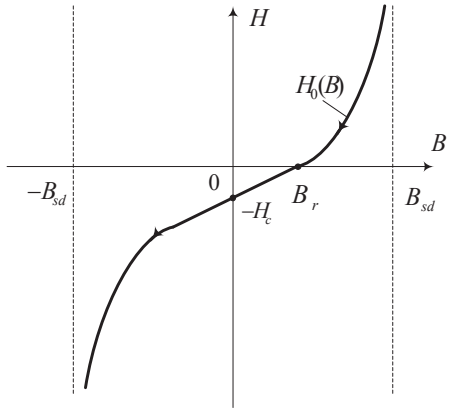


Рис. 2. Зависимость $H_0(B)$ – нисходящая ветвь
опытной статической петли

Динамическую петлю $B(H)$ строим с помощью равенства (4), взяв за основу опытную статическую петлю.

Литература

1. *Дружинин В.В.* Магнитные свойства электротехнической стали. М.: Энергия, 1974. 240 с.
2. *Рейнбот Г.* Технология и применение магнитных материалов: пер. с нем. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 340 с.
3. *Пермяков В.* Магнитные потери в электрических машинах: влияние формы магнитного потока и механических усилий // Вестник УГТУ – УПИ. 2003. № 5(25). С. 93-103.
4. *Пирогов А.И., Шамаев Ю.М.* Магнитные сердечники для устройств автоматики и вычислительной техники. М.: Энергия, 1973. 264 с.

АФАНАСЬЕВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (afan39@mail.ru).

AFANASYEV ALEXANDER ALEKSANDROVICH – doctor of technical sciences, professor, head of Management and Information Science in Engineering Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УЛЬЯНОВ АРТЕМ АНАТОЛЬЕВИЧ – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (aa-ulyanov@yandex.ru).

ULYANOV ARTEM ANATOLYEVICH – master's program student of Management and Information Science in Engineering Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.318.3
ББК 31.264

В.В. АФАНАСЬЕВ, В.К. КАДЫКОВ,
А.В. ПРИКАЗЩИКОВ, Н.В. РУССОВА, Г.П. СВИНЦОВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КЛАПАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: *электромагнит, моделирование, теория подобия и планирования эксперимента, оптимизация,*

Рассмотрена методика синтеза оптимальных клапанных электромагнитов, работающих в длительном режиме. Методика основана на экспериментальных зависимостях электромагнитной силы (момента), магнитодвижущей силы, полученных методами теории подобия и планирования эксперимента, а также на математических моделях тепловых параметров магнитной системы, учитывающих неравномерности распределения температурного поля в толще обмотки и отдельно составляющие конвективного теплообмена и отдачи тепла лучеиспусканием.

**V.V. AFANASYEV, V.K. KADYKOV,
A.V. PRIKAZCSHIKOV, N.V. RUSSOVA, G.P. SVINZOV**

METHODS OF CALCULATION OF ENERGY-SAVING VALVED ELECTROMAGNETS OF CONSTANT VOLTAGE

Key words: *an electromagnet, modeling, the theory of similarity and experiment planning, optimization.*

The technique of synthesis optimum of the valved electromagnets working in a long mode is considered. The technique is based on experimental dependences of electromagnetic force (moment), magnet moving force, received by the methods of the similarity and experiment planning theory, and also at the mathematical models of magnetic system thermal parameters, considering non-uniformity of the temperature field distribution inside the winding and separately convective heat exchange and return of heat by emission.

Контакторы, магнитные пускатели, реле автоматики и управления являются изделиями массового применения и производства. Снижение потребляемой ими мощности позволит в объеме производства существенно увеличить экономию расхода электрической энергии, особенно в длительном режиме работы названных аппаратов. Синтез оптимального приводного электромагнита, на который приходится [12]

60-80% рассеиваемой коммутационным аппаратом мощности, позволяет минимизировать и общие потери электрической энергии.

В известной методике проектного расчета клапанной магнитной системы (МС) постоянного напряжения (рис. 1), служащей основой многих приводных электромагнитов (ЭМ) коммутационных аппаратов, получены зависимости соразмерностей МС, обеспечивающих минимизацию потребляемой ими мощности [8, 9]. Однако в этой методике выражения электромагнитной ($P_{эм}$), магнитодвижущей (F) сил получены без учета магнитных сопротивлений ферромагнитных элементов МС. Без должного обоснования приходится задаваться коэффициентом теплоотдачи ($K_т$), который, как известно, зависит от превышения температуры ($\tau = \theta_{доп} - \theta_0$), площади эквивалентной теплоотдающей поверхности, атмосферного давления [10] и может меняться в широких пределах [1]. В известных методиках, базирующихся на теоретическом анализе потокораспределения в МС на основе ее схемы замещения [2, 6, 8-10, 12, 15 и др.], не учитывается, что в рабочий воздушный зазор попадает лишь часть магнитного потока ($\Phi_р$), пронизывающего поперечное сечение сердечника, примыкающее к полюсному наконечнику. Доля потока (Φ_δ) в рабочем воздушном зазоре может составлять лишь 70-80% от $\Phi_р$ [5]. Пренебрежение этим фактом приводит к завышению расчетного значения $P_{эм}$ и, как следствие, заниженным значениям размеров МС. Структура поля рассеяния в реальных МС может быть далека от плоскопараллельной [14], каковой она закладывается в расчеты по схемам замещения [15 и др.]. Все отмеченное снижает достоверность проектного расчета клапанных МС.

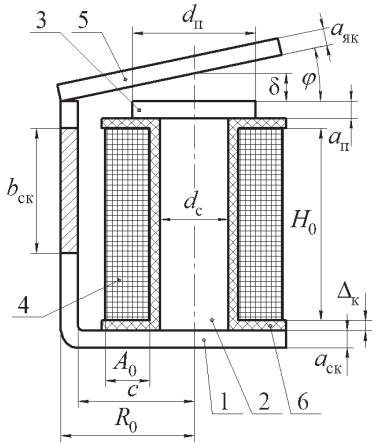


Рис. 1. Эскиз магнитной системы клапанного электромагнита: 1 – скоба; 2 – сердечник; 3 – полюсный наконечник; 4 – обмотка; 5 – якорь; 6 – каркас

Ниже приводится методика синтеза оптимальных МС, рассматриваемых электромагнитов, работающих в длительном режиме. Она основывается, в отличие от известной [9], на экспериментальных зависимостях электромагнитной силы (момента $M_{эм}$), магнитодвижущей силы, полученных в [4, 5] методами теории подобия [7, 15] и планирования эксперимента [3], а также на математических моделях тепловых параметров МС, полученных нами расчетным моделированием неравномерности распределения температурного поля в толще обмотки [13] и раздельным учетом составляющих конвективного теплообмена и отдачи тепла лучеиспусканием [10].

Для горизонтального расположения обмотки в пространстве получено:

$$K_* = \frac{K_{т.экв} S_к}{K_{т.баз} S_с} = \left(8{,}57 + 1{,}02a_{11} + 0{,}399a_{22} + 0{,}345a_{55} + 0{,}459a_{66} - 0{,}129a_{66}^2\right)^2, \qquad (1)$$

$$\Theta_{S*} = \frac{\Theta_S}{\Theta_0} = \left(1{,}37 - 0{,}018a_{22} + 0{,}130a_{55} - 0{,}161a_{66} + 0{,}039a_{66}^2 - 0{,}021a_{55}a_{66}\right)^2, \qquad (2)$$

$$\Theta_{V*} = \frac{\Theta_V}{\Theta_0} = \left(1{,}44 + 0{,}154a_{55} - 0{,}184a_{66} + 0{,}043a_{66}^2 - 0{,}024a_{55}a_{66}\right)^2. \qquad (3)$$

где K_* – коэффициент, оценивающий теплоотдающую способность МС; Θ_{S*}, Θ_{V*} – относительные величины среднеповерхностной (Θ_S) температуры катушки и среднеобъемной (Θ_V) температуры в толще обмотки; $a_{11} = 1{,}003H_* - 3{,}01$; $a_{22} = 7{,}044A_* - 3{,}522$; $a_{55} = 3{,}202(0{,}01\Theta_{max}) - 4{,}163$; $a_{66} = 6{,}667(0{,}01\Theta_0) - 3{,}667$; $1{,}245 \le H_* \le H_0/d \le 4{,}775$; $0{,}25 \le A_* \le A_0/d_с \le 0{,}75$; $75°C \le \Theta_{max} \le 185°C$; $28{,}6°C \le \Theta_0 \le 81{,}4°C$; $S_с = \pi d_с^2/4$ – площадь поперечного сечения сердечника; $S_к$ – суммарная площадь поверхности обмотки;

Θ_{max} – максимальная температура в толще обмотки; Θ_0 – температура окружающей среды; $K_{т.баз} = 5{,}67(2{,}73 + 0{,}01\Theta_0)^4/\Theta_0$ – базисное значение коэффициента теплоотдачи.

Ниже используется нагрузочная характеристика клапанной МС, представленная в параметрической форме [4, 5]:

$$\begin{cases} M_* = M_{эм}/M_{баз} = 10^{-6}\cdot C^6, & (4) \\ F_* = F/F_{баз} = 10^{-4}\cdot B^2, & (5) \end{cases}$$

где $M_{баз} = (\pi\cdot B_0^2\cdot d_c^3)/8\mu_0$; $F_{баз} = B_0\cdot d_c/\mu_0$, $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Г/м;

$C = c_0 - c_1x_1 - c_2x_2 - 0{,}123x_1^2 - 0{,}237x_2^2 - c_{33}x_3^2 - 0{,}112x_4^2 - 0{,}125x_5^2$;

$c_0 = 8{,}48 - 9{,}54\varphi$; $c_1 = 0{,}342 - 6{,}48\varphi + 63{,}4\varphi^2 - 239\varphi^3 + 322\varphi^4$;

$c_2 = 0{,}516 - 6{,}74\varphi + 54{,}5\varphi^2 - 221\varphi^3 + 338\varphi^4$;

$c_{33} = -0{,}015 + 3{,}0\varphi - 25{,}2\varphi^2 + 121\varphi^3 - 226\varphi^4$;

$B = b_0 + b_1x_1 - b_2x_2 + b_5x_5 + b_{55}x_5^2$;

$b_0 = 4{,}15 + 7{,}04\varphi - 13{,}9\varphi^2$; $b_1 = 0{,}15 - 1{,}55\varphi + 4{,}39\varphi^2$; $b_2 = 0{,}096 + 0{,}783\varphi - 2{,}25\varphi^2$;

$b_5 = 0{,}204 - 0{,}953\varphi + 2{,}34\varphi^2$; $b_{55} = 0{,}149 - 0{,}691\varphi + 1{,}59\varphi^2$;

$x_1 = 1{,}007H_* - 2{,}769$; $x_2 = 3{,}195d_* - 5{,}591$; $x_3 = 4{,}405c_* - 7{,}753$;

$x_4 = 6{,}667A_* - 4$; $x_5 = 3{,}546B_* - 4{,}61$;

$1{,}165 \le H_* = H_0/d_c \le 4{,}335$; $1{,}25 \le d_* = d_п/d_c \le 2{,}25$;

$1{,}398 \le c_* = c/d_c \le 2{,}122$; $0{,}361 \le A_* = A_0/d_c \le 0{,}839$; $0{,}85\text{Тл} \le B_0 \le 1{,}65\text{Тл}$;

$1° \le \varphi \le 15°$ (в (4) и (5) подставляется в радианах).

Остальные соразмерности поддерживались на неизменном, характерном для клапанных МС уровне [6, 9 и др.]: $a_п/d_c = 0{,}2$; $\Delta_к/d_c = 0{,}1$; $a_{ск}/d_c = a_{як}/d_c = 0{,}25$; $b_{ск}/d_c = b_{як}/d_c = 3{,}15$, при этом $a_{ск}\cdot b_{ск} = \pi\cdot d_c^2/4$.

Электромагнитная сила $P_{эм}$, приведенная к оси сердечника, определяется выражением

$$P_{эм} = M_{эм}/(a_{яр} + c).$$

В соответствии с основным своим функциональным назначением электромагнитный привод должен обеспечить срабатывание (переместить рабочий орган механизма из начального в его конечное положение) при неблагоприятных сочетаниях факторов в процессе эксплуатации: напряжение источника равно минимально допустимому своему значению (U_{min}), сопротивление ($R_{гор}$) обмоток соответствует значению, когда максимальная температура (Θ_{max}) в толще обмотки равна допустимой ($\Theta_{доп}$), определяемой при максимально возможном (U_{max}) напряжении сети [6, 15 и др.]. Таким образом, в качестве исходных данных при выполнении проектного расчета, как минимум, необходимо задаваться: значением силы ($P_{мх.кр}$) и рабочего воздушного зазора ($\delta_{кр}$) или всей противодействующей характеристикой механизма; относительными пределами изменения напряжения питания ($K_{U_{min}}$, $K_{U_{max}}$); допустимой температурой нагрева, соответствующей определенной марке обмоточного провода; температурой окружающей среды (Θ_0) [2, 6, 15 и др], атмосферным давлением ($P_{атм}$) среды [1].

Следовательно, имеется возможность выразить две переменные проектирования (в нашем случае A_* и $\delta_* = \delta_{кр}/d_c$) через исходные данные и уравнения проектирования (1)-(5) [8, 9 и др.]. При этом уравнение нагрева в виде формулы Ньютона–Рихмана [12] сводится к выражению

$$\delta_* - \frac{m_d\cdot\mu_0^2\cdot\delta_{кр}}{F_*^2\cdot B_0^2} = 0,$$

а уравнение силы в критической точке – к виду

$$\begin{cases} A_{*1} = -0{,}15\sqrt{Z_a} + 0{,}60; \\ A_{*2} = 0{,}15\sqrt{Z_a} + 0{,}60, \end{cases}$$

где $Z_a = \frac{1}{0{,}112}\left\{-10\cdot\left[P_*\cdot(0{,}25+c_*)\right]^{1/6} + c_0 - c_1x_1 - c_2x_2 - 0{,}123x_1^2 - 0{,}237x_2^2 - c_{33}x_3^2 - 0{,}125x_5^2\right\}$

должно быть больше 0;

$$P_* = \frac{32\cdot10^{-7}\cdot P_{\text{мх.кр}}\cdot\delta_*^2}{B_0^2\cdot\delta_{\text{кр}}^2};\ m_d = \frac{(\Theta_{S*}-1)\cdot\Theta_0 K_{\text{т.баз}}K_*\cdot k\cdot A_*\cdot H_*\cdot k_{\text{атм}}}{4\rho_{\text{гор}}\cdot(1+2\Delta_{к*}+A_*)};$$

$$k = \frac{K_з}{(K_{U_{\text{ср}}}\cdot K_U)^2};\ K_U = U_{\max}/U_{\min} = K_{U_{\max}}/K_{U_{\min}},$$

где $K_{U_{\text{ср}}}$ – коэффициент запаса по напряжению срабатывания относительно $U_{\min}$ (введено для компенсации влияния возможных технологических разбросов при изготовлении); $K_з$ – коэффициент заполнения обмоточного окна.

Поиск наилучшего решения осуществлен методом сканирования [8, 9]. Во внутреннем цикле проверяется условие геометрической реализуемости магнитной системы ($c \ge A_0 + 0{,}5d_c + a_{\text{ск}} + 2\Delta_{\text{к}}$), а также после перебора всех узловых точек факторного пространства «очерчивается» область глобального минимума расширением на шаг «влево» и шаг «вправо» от точки предварительного минимума. Осуществляется повторное сканирование выделенной области с уменьшенным шагом и организуется вывод результатов оптимизации: относительных геометрических размеров МС, безразмерной индукции в основании сердечника в долях соответствующего комплекса проектирования ($B_{\text{кп}} = \sqrt{\mu_0 P_{\text{мх.кр}}}/\delta_{\text{кр}}$), пропорционального конструктивному фактору.

Рассмотрим некоторые результаты оптимизационных расчетов по критерию «потребляемая мощность» ($P_{\text{эл}}$) МС:

$$P_{\text{эл}} = U_{\max}^2/R_{\text{гор}}. \qquad (6)$$

Выражение (6) приведено к удобному для использования в алгоритме синтеза виду:

$$(K_{\text{макс}}F_{\text{ср}})^2 = \frac{P_{\text{эл}}A_0H_0K_з}{\rho_{\text{гор}}\pi(d_c + 2\Delta_{\text{к}} + A_0)},$$

где $K_{\text{макс}} = K_{U_{\max}}K_{U_{\text{ср}}}/K_{U_{\min}}$; $\rho_{\text{гор}} = 1{,}62\cdot10^{-8}(1+0{,}004\Theta_V)$, Ом·м.

Для математического описания оптимальных параметров МС как функций от исходных данных проектирования был спланирован и реализован вычислительный эксперимент на основе разработанной методики синтеза [3]. После обработки его результатов получено:

$$\delta_{*\text{р}} = \delta_{\text{кр}}/d_{\text{с}} = (0{,}720 + 0{,}055z_1 - 0{,}017z_2 + 0{,}009z_5 - 0{,}017z_1^2)^4;$$

$$H_{*\text{р}} = H_0/d_{\text{с}} = (1{,}561 - 0{,}045z_1^2 + 0{,}017z_1z_2)^2;$$

$$d_{*\text{р}} = d_{\text{п}}/d_{\text{с}} = 1{,}848 + 0{,}027z_1;\ c_{*\text{р}} = c/d_{\text{с}} = 1{,}836;\ A_{*\text{р}} = A_0/d_{\text{с}} = 0{,}655;$$

$$B_{*\text{р}} = B_0/B_{\text{кп}} = (1{,}095 + 0{,}083z_1 - 0{,}022z_1^2 - 0{,}028z_2 + 0{,}012z_5)^6,$$

где $z_1 = 0{,}319\delta_{\text{кр}} - 2{,}236$; $z_2 = 0{,}159P_{\text{мх.кр}} - 2{,}392$; $z_5 = 8K_3 - 4$; $2\text{ мм} \le \delta_{\text{кр}} \le 12\text{ мм}$; $5\text{ Н} \le P_{\text{мх.кр}} \le 25\text{ Н}$; $0{,}3 \le K_3 \le 0{,}7$; $1{,}35 \le K_{\max} \le 1{,}75$; $90°\text{C} \le \Theta_{\max} \le 130°\text{C}$; $\Theta_0 = 40°\text{C}$; $P_{\text{атм}} = 760$ мм рт. ст.

Из полученных выражений видно, что оптимальные относительные толщина обмотки ($A_{*\text{р}}$), расстояние от оси сердечника до скобы магнитопровода ($c_{*\text{р}}$) практически не зависят от исходных данных проектирования. В указанных диапазонах не сказывается влияние $K_{\text{макс}}$, $\Theta_{\max}$ на оптимальные параметры МС.

Анализ полученных результатов оптимизационных расчетов показывает, что рациональные значения усредненной магнитной индукции (B_0) по сечению сердечника в его основании при длительном режиме работы ЭМ находится в диапазоне от 0,85 до 1,23 Тл, следовательно, в области проведенного вычислительного эксперимента МС может быть как линейной ($B_0 \le 1{,}11$ Тл), так и нелинейной [4].

Для того чтобы воспользоваться полученными результатами синтеза оптимальных МС, достаточно по исходным данным проектирования подсчитать: 1) значения z_1, z_2, z_5; 2) значения $\delta_{*р}$, $H_{*р}$, $d_{*р}$, $c_{*р}$, $A_{*р}$, $B_{*р}$; 3) размеры МС и B_0; 4) кодированные значения факторов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 (при $B_0 \le 1{,}11$ Тл принять $x_5 = -0{,}674$) и угловое положение якоря $\varphi = \operatorname{arctg}(\delta_{*р}/(0{,}25 + c_{*р}))$; 5) на основании выражения (5) МДС срабатывания $F_{ср} = F_* B_0 d_c/\mu_0$; 6) значения a_{55}, a_{66}, Θ_V; 7) удельное электрическое сопротивление обмоточного провода нагретой МС $\rho_{гор} = 1{,}62 \cdot 10^{-8}(1 + 0{,}0043 \cdot \Theta_V)$; 8) напряжение срабатывания $U_{ср} = K_{U_{min}} U_н \big/ K_{U_{ср}}$ ($U_н$ – номинальное значение напряжения питания); 9) диаметр обмоточного провода $d'_м = 2\sqrt{\rho_{гор}(d_c + 2\Delta_к + A_0) \cdot F_{ср} \big/ U_{ср}}$ и округлить его до ближайшего большего ($d_м$) по сортаменту; 10) уточнить по $d_м$ сечение обмоточного провода ($q_м$) и коэффициент заполнения ($K_з$); 11) если $K_з$ в п. 1 и п. 10 отличаются, то следует повторить расчет п. 1 – п. 10; 12) число витков (N) обмотки $N = A_0 H_0 K_з / q_m$, где $q_м = \pi d_м^2 / 4$.

Выводы. 1. Разработанная методика синтеза клапанных электромагнитов с круглыми полюсными наконечниками минимального потребления мощности, базирующаяся на обобщенной экспериментальной нагрузочной характеристике, минимизирует количество произвольно принимаемых поправочных коэффициентов и кратностей, повышая достоверность результатов проектного расчета.

2. Установленные зависимости оптимальных основных соразмерностей в магнитной системе, обеспечивающих минимум потребляемой мощности, от исходных данных проектирования существенно сокращает затраты на синтез.

3. Показано, что оптимальные соразмерности в магнитной системе изменяются гораздо в более узких пределах, чем ее абсолютные размеры.

4. Относительная толщина обмотки должна выбираться равной 0,655, а относительное расстояние от оси сердечника до скобы магнитопровода – 1,836.

5. Оптимальный относительный диаметр полюсного наконечника рекомендуется выбирать в пределах от 1,805 до 1,891.

6. Оптимальные магнитные системы близки к линейным в рассмотренной области исходных данных проектирования.

Литература

1. *Витенберг М.И.* Расчет электромагнитных реле для аппаратуры автоматики и связи. М.; Л.: Энергия, 1966. 724 с.

2. *Гордон А.В., Сливинская А.Г.* Электромагниты постоянного тока. М.; Л.: ГЭИ, 1960. 147 с.

3. *Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П.* Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975. 184 с.

4. *Кадыков В.К., Кузьмин А.В., Руссова Н.В., Свинцов Г.П.* К выбору диаметра полюсного наконечника клапанной магнитной системы постоянного тока // Известия вузов. Сер. Электромеханика. 2009. № 3. С. 63-68.

5. *Кадыков В.К., Руссова Н.В., Свинцов Г.П., Сизов А.В.* Обобщенные экспериментальные зависимости потокораспределения и магнитодвижущей силы в клапанных электромагнитных системах постоянного тока с круглыми полюсными наконечниками // Электротехника. 2007. № 4. С. 41-47.

6. *Любчик М.А.* Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока (расчет и элементы проектирования). М.: Энергия, 1968. 152 с.

7. *Могилевский Г.В.* Применение теории подобия к проектированию электромагнитов // Вестник электропромышленности. 1959. № 4. С. 34-38.

8. *Никитенко А.Г.* Автоматизированное проектирование электрических аппаратов: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1983. 192 с.

9. *Никитенко А.Г.* Проектирование оптимальных электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1974. 136 с.

10. Основы теории электрических аппаратов / *Б.К. Буль, Г.В. Буткевич, А.Г. Годжелло и др*. М.: Высш. шк., 1970. 600 с.

11. *Приказщиков А.В.* Моделирование клапанных электромагнитов и усовершенствование методик их проектного расчета: дис. ... канд. техн. наук. Чебоксары, 2011. 169 с.

12. *Сахаров П.В.* Проектирование электрических аппаратов. М.: Энергия, 1971. 560 с.
13. *Смирнов Ю.В.* Критерии неравномерности температурного поля в катушках электромагнитных устройств // Электротехника. 1975. № 11. С. 41-45.
14. *Шоффа В.Н.* Анализ полей магнитных систем электрических аппаратов. М.: Изд-во МЭИ, 1994. 112 с.
15. *Шоффа В.Н.* Методы расчета магнитных систем постоянного тока. М.: Изд-во МЭИ, 1998. 40 с.

АФАНАСЬЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-инновационной работе, заведующий кафедрой теплоэнергетических установок, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (afanasiyev-chuvsu@rambler.ru).

AFANASYEV VLADIMIR VASILYEVICH – doctor of technical sciences, professor, vice rector for research and innovation work, head of Thermal Power Plants Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КАДЫКОВ ВИЛОР КОНСТАНТИНОВИЧ – научный сотрудник научно-исследовательской части, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KADYKOV VILOR KONSTANTINOVICH – scientific employee of a research and development part, Chuvash State University, Russi, Cheboksary.

ПРИКАЗЩИКОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ – генеральный директор, ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия, Чебоксары (06prikav@vniir.ru, alatyr2002@yandex.ru).

PRIKAZSHCHIKOV ALEKSANDR VIKTOROVICH – general director, JSC «VNIIR-Progress», Russia, Cheboksary.

РУССОВА НАТАЛИЯ ВАЛЕРЬЕВНА. См. с. 161.

СВИНЦОВ ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ. См. с. 161.

УДК 621.365, 534.22
ББК 31.35

В.В. АФАНАСЬЕВ, В.Г. КОВАЛЕВ, В.А. ТАРАСОВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Ключевые слова: *электротермическая газификация, твердое топливо, физико-химические процессы.*

Рассмотрены физико-химические процессы при электротермической газификации твердых топлив. Показана возможность проведения восстановительных процессов с получением металлических сплавов.

V.V. AFANASYEV, V.G. KOVALEV, V.A. TARASOV

PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN THE ELECTRO-GASIFICATION OF SOLID FUELS

Key words: *electrothermal gasification, solid fuel, physico-chemical processes.*

The physicochemical processes in electro-gasification of solid fuels. The possibility of recovery processes to produce metal alloys.

При работе электротехнологического газификатора электрическая энергия превращается в тепловую [1, 6]. За счет тепла, выделяемого в шихте, а также за счет тепла экзотермических реакций и физического тепла шихтовых материалов происходят процессы нагрева и сушки перерабатываемых материалов, полукоксования и газификации, плавления минеральной части топлива, восстановления оксидов. С колошника в зону высоких температур постепенно опускаются все новые и новые порции шихты, а снизу вверх направлен поток газов. Таким образом, в ванне электротехнологического газификатора реализуется режим противотока перерабатываемых материалов и отходящих газов. В подовой части происходит расплавление негорючей части отходов. Получаемый шлак и

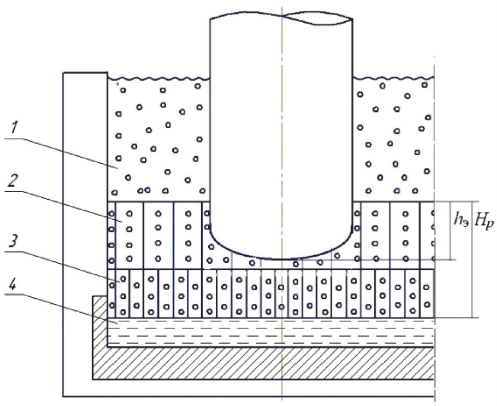


Рис. 1. Строение рабочего пространства ванны электротехнологического газификатора электрохимической газификации:
1 – зона нагрева и полукоксования;
2 – реакционная зона (зона газификации коксового остатка);
3 – зона шлакового расплава;
4 – зона металлического расплава

металлический расплав периодически выводятся из ванны. В соответствии с состоянием материалов в ваннах можно выделить несколько технологических зон (рис. 1).

При нагревании твердого топлива до 100-110°С в зоне нагрева происходит сушка. В интервале температур 100-250°С начинается термическое разложение с выделением пирогенной воды, диоксида и оксида углерода, при более высокой температуре начинают выделяться углеводороды, смоляные пары и другие органические соединения. Основная масса летучих веществ выделяется из молодых топлив при 270-450°С, а из старых – при 350-500°С, выделение смолы прекращается при 500-580°С. При нагреве до 500-700°С происходит полукоксование твердого топлива. При более высокой температуре в реакционной зоне начинаются процессы газификации коксового остатка и плавления минеральной части топлива [7]. Тепловая энергия, необходимая для эндотермических процессов, получается при растекании электрического тока по материалам реакционной зоны. В этой зоне находятся рабочие концы электродов и происходит основное преобразование электрической энергии в тепловую. Полная газификация коксового остатка происходит при температуре 1100-1200°С. Минеральная часть топлива и минеральные добавки образуют шлаковый расплав. Оксиды железа, кремния и других элементов восстанавливаются углеродом, при этом образуется металлический сплав. Таким образом, установки электрохимической газификации являются высокотемпературными химическими реакторами со сложной структурой рабочей зоны и неравномерным распределением источников тепла и температуры. Исходные компоненты поступают с температурой 20°С, продукты реакции (расплавы и газы) покидают печь с температурой 1400-1500°С. Такой широкий диапазон температур определяет неоднородность рабочего пространства печи. В верхних уровнях, куда поступает холодная шихта, все компоненты твердые, по мере опускания шихты вниз температура повышается, появляется жидкая фаза. Область максимальных температур находится вблизи рабочих концов электродов, поскольку там выделяется большая часть мощности за счет растекания тока по материалам ванны. В этой области интенсивно протекают эндотермические реакции. Выходящий из реакционной зоны горячий газ фильтруется через слой холодной шихты и отдает шихте часть своего тепла.

Поскольку куски твердого топлива и расплавленный шлак обладают определенной электропроводностью, при растекании электрического тока по ним выделяется тепло, поэтому электротехнологический электродный газификатор может работать в режиме дугового нагрева, режиме резистивного нагрева и режиме смешанного нагрева, когда тепло выделяется как в дугах, так и при растекании тока по материалам ванны.

Температурное поле в твердых и жидких материалах рабочей зоны электротехнологической установки с учетом внутренних источников тепла описывается в общем случае уравнением [8]

$$C_p\rho\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}+w_x\frac{\partial T}{\partial x}+w_y\frac{\partial T}{\partial x}+w_z\frac{\partial T}{\partial x}\right)=\frac{\partial T}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial T}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial T}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right)+p_v-q_v, \quad (1)$$

где w_x, w_y, w_z – компоненты вектора скорости движения материала; C_p – изобарная массовая теплоемкость материала; ρ – плотность материала; λ – коэффициент теплопроводности; ρ_v – удельная объемная мощность, которая определяется процессами преобразования электрической энергии в тепловую; q_v – плотность источников (или стоков) тепловой энергии при протекании химических реакций. При эндотермических реакциях тепловая энергия поглощается, поэтому q_v входит в формулу со знаком минус, при экзотермических реакциях q_v входит со знаком плюс. При преобладании в ванне эндотермических процессов для обеспечения нагрева материалов и компенсации тепловых потерь должно выполняться условие $p_v > q_v$, которое обеспечивается введением в ванну электроэнергии.

При газификации углеродистых материалов в рабочем объеме ванны с поглощением тепла (МДж/кмоль) протекают реакции

$$C + H_2O = CO + H_2 - 118{,}7; \qquad C + 2\,H_2O = CO_2 + 2\,H_2 - 75{,}5;$$
$$C + CO_2 = 2\,CO - 161{,}5; \qquad CO_2 + H_2 = CO + H_2O - 43{,}6.$$

С выделением тепла (МДж/кмоль) протекают реакции

$$C + O_2 = CO_2 + 407; \quad C + 0{,}5O_2 = CO + 123; \quad CO + 0{,}5O_2 = CO_2 + 284.$$

При интенсивном протекании экзотермических реакций расход электроэнергии существенно сокращается, при достаточном выделении тепла при химических реакциях подача электроэнергии может быть прекращена и установка газификации переходит в автотермический режим, при этом температура процесса поддерживается за счет расхода части углеродистого материала.

Для решения уравнения (1) необходимо найти поле скоростей движения материала, что в общем случае является весьма сложной задачей. Для упрощения решения задачи расчета температурного поля в электротехнологических установках используют понятие коэффициента эффективной теплопроводности $\lambda_{эф}$, которая позволяет находить распределение температуры в зоне реакции решением уравнения

$$C_p\rho\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial T}{\partial x}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial T}{\partial y}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial T}{\partial z}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + p_v - q_v. \qquad (2)$$

При непрерывном режиме работы печи температурное поле в материалах ванны зависит от координат, но не зависит от времени

$$C_p\rho\left(w_x\frac{\partial T}{\partial x} + w_y\frac{\partial T}{\partial x} + w_z\frac{\partial T}{\partial x}\right) = \frac{\partial T}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial T}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial T}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right) + p_v - q_v. \qquad (3)$$

При использовании понятия коэффициент эффективной теплопроводности $\lambda_{эф}$, уравнение (3) принимает вид

$$\frac{\partial T}{\partial x}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial T}{\partial y}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial T}{\partial z}\left(\lambda_{эф}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + p_v - q_v = 0. \qquad (4)$$

Для гетерогенных процессов плотность источников тепловой энергии при протекании химических реакций [8]

$$q_v = \beta S_v \Delta c Q,$$

где β – константа скорости реакции, отнесенная к единице поверхности взаимодействия; S_v – поверхность контакта фаз, отнесенная к единице объема; Δc – движущая сила процесса; Q – тепловой эффект процесса.

Значение поверхности контакта фаз

$$S_v = n_0 \psi r^2,$$

где n_0 – число частиц твердой фазы размером r в единице объема; ψ – коэффициент формы частиц.

Константа скорости реакции зависит от температуры [8]

$$\beta = \beta_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right),$$

где β_0 – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

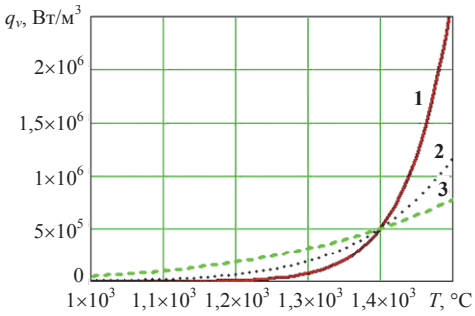


Рис. 2. Зависимость объемной удельной мощности q_v, поглощаемой реакцией газификации, от температуры при различных значениях энергии активации (1 – E = 415,7 кДж/моль; 2 – E = 207,9 кДж/моль; 3 – E = 103,9 кДж/моль)

При увеличении температуры вследствие возрастания скорости реакций ния объемной удельной мощности, поглощаемой реакцией газификации, значительно возрастают (рис. 2).

Из зависимостей объемной удельной мощности, поглощаемой реакцией газификации от температуры, видно, что при температуре ниже 1000°С вследствие низкой скорости эндотермических реакций тепловая энергия на них практически не расходуется ($q_v \approx 0$).

При этом вся тепловая энергия, которая выделяется при протекании электрического тока по материалам ванн, расходуется только на нагрев и плавление материалов, а также на тепловые потери. При более высокой температуре резко возрастают скорости эндотермических реакций и расход тепла на эти реакции. Для осуществления термоэлектрической газификации необходимо обеспечить достаточную плотность выделения мощности для выполнения условия $p_v > q_v$.

Расчеты на математических моделях равновесного состояния смеси оксида углерода, диоксида углерода, водорода, водяного пара и метана в присутствии твердого углерода показали, что при низких температурах (до 1200°С) равновесное содержание оксида углерода и водорода незначительно, в газе много водяных паров и диоксида углерода. В диапазоне температур 1200-1300°С резко увеличивается содержание водорода и оксида углерода и снижается содержание водяного пара и диоксида углерода, теплота сгорания газа возрастает (рис. 2). При температуре выше 1300°С синтез-газ практически состоит только из водорода и оксида углерода, оценки показывают, что теплота сгорания синтез-газа возрастает при увеличении температуры газификации (рис. 3).

Таким образом, для эффективной термоэлектрической газификации температура в реакционной зоне должна быть более 1200°С, и в этой зоне должна выделяться достаточная мощность. Электронагрев позволяет обеспечить такую температуру.

В реакционной зоне электродной установки термоэлектрической газификации в слой расплавленного шлака поступают куски углеродистого материала, которые сначала должны нагреться до температуры 1200°С, при которой начинается интенсивная газификация.

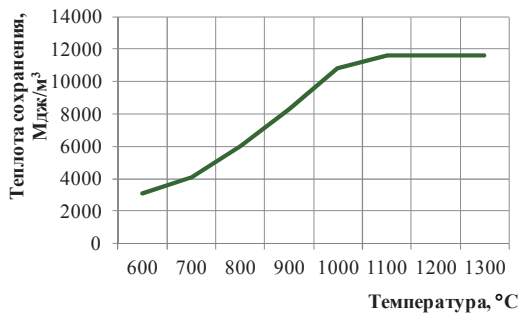


Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания состава синтез-газа от температуры газификации, % объемные

Расчет времени нагрева должен проводиться с учетом степени термической массивности, которая определяется критерием Био:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda},$$

где α – коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности; r – радиус куска.

При симметричном нагреве тел простой формы, когда температурное поле зависит от одной координаты, используется обобщенный размер тела, равный отношению объема тела V к обогреваемой поверхности F

$$R_v = V/F$$

обобщенный размер тела выражается через расчетный размер r и коэффициент формы тела k [3]

$$R_v = r/k.$$

Время нагрева термически тонкого тела объемом V определяется решением уравнения энергетического баланса

$$c\rho\frac{dT}{dt}V = q(T) + q_v,$$

где c – удельная теплоемкость тела; ρ – плотность тела; $q(T)$ – плотность теплового потока, проходящего через поверхность тела; q_v – плотность источников (или стоков) тепла в объеме тела.

Время нагрева термически тонкого тела от начальной температуры T_n°С до температуры T_k°С в среде с температурой T_q рассчитывается по формуле

$$\tau_n = \frac{R_v cp}{\alpha}\ln\left(\frac{T_q - T_n}{T_q - T_k}\right).$$

При значениях критерия $0{,}1 < Bi < 1{,}0$ расчеты времени нагрева тела до средней температуры можно проводить по формулам для тонкого тела с учетом коэффициента массивности тела [3]

$$M = \frac{2+k}{2+k+Bi},\quad \tau_n = \frac{R_v cp}{\alpha M}\ln\left(\frac{T_q - T_n}{T_q - T_k}\right).$$

Зависимость средней температуры от времени описывается выражением

$$T = T_q\left(1 - \exp\left(-\frac{\alpha M\tau}{R_v cp}\right)\right).$$

Если в процессе нагрева масса тела уменьшается за счет выделения летучих веществ, время нагрева можно определить по выражению

$$\tau_n = \frac{R_v cp}{\alpha M}\int_{T_n}^{T_k}\frac{1 - T\dfrac{vq}{T_k}}{T_q - T}dT.$$

где vq – массовая доля летучих веществ.

Из приведенных на рис. 4 и 5 зависимостей от времени средней температуры сферического куска, находящегося в среде с температурой 1400°С, видно, что для нагрева холодного куска диаметром 2 см до температуры 1200°С требуется не более 2,5 мин.

Скорость нагрева достигает 600°С/мин.

Максимальная скорость нагрева куска диаметром 2 см при коэффициенте теплоотдачи 100 Вт/м^{2}К в начале нагрева составляет 30 К/с, при коэффициенте теплоотдачи 50 Вт/м^{2}К максимальная скорость нагрева равна 15,8 К/с. Для куска диаметром 3 см максимальная скорость нагрева при коэффициенте теплоотдачи 100 Вт/м^{2}К составляет 19,3 К/с, при коэффициенте теплоотдачи 50 Вт/м^{2}К максимальная скорость нагрева равна 10,3 К/с (рис. 6).

При уменьшении размеров частиц время нагрева существенно снижается. При использовании для подсветки пылеугольного факела вместо мазута частиц угля диаметром 200-300 мкм, нагретых до 900-1000°С в потоке горячего газа при температуре полученного в плазмотроне газа 3000°С, температура частицы 900°С достигается через 0,75 с, при температуре продуктов горения синтез-газа 1900°С температура частицы 900°С достигается через 1,3 с (рис. 6).

С учетом уменьшения массы частицы при нагреве за счет выделения летучих веществ время нагрева частицы до температуры разложения органической части топлива не более 1 с, следовательно, нагрев частиц угля в продуктах горения синтез-газа происходит также интенсивно, как и в струе плазмы. Существующие технологии автотерми-

ческой газификации твердого топлива не обеспечивают полную газификацию тощих каменных углей с малым выходам летучих и стабильный непрерывный выход синтез-газа [2]. Необходимыми качествами производства синтез-газа для подсветки пылеугольного факела обладает аллотермическая электротермическая газификация твердого топлива, предложенная в работах [1, 6]. Газификация в электротермической установке обеспечивает устойчивую работу при любом виде сырья в широком диапазоне изменения параметров электротехнологического режима, легкость пуска и остановки, возможность использования дешевой электрической энергии ночных минимумов и работы в качестве потребителя-регулятора.

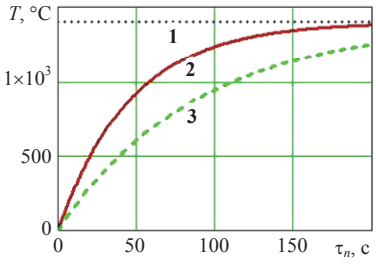


Рис. 4. Изменение температуры куска углеродистого материала диаметром 2 см при нагреве в среде с температурой 1400°С (1) при коэффициенте теплоотдачи 100 Вт/м^2 К (2) и 50 Вт/м^{2}К (3)

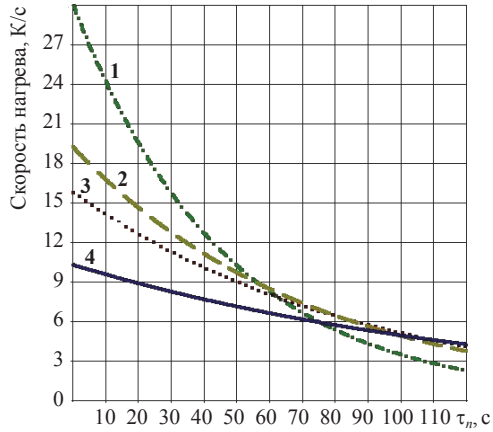


Рис. 5. Скорость нагрева куска диаметром 2 см (1 и 2) и куска диаметром 3 см (3 и 4) при коэффициенте теплоотдачи 100 Вт/м^2 К (1 и 3) и 50 Вт/м^2 К (2 и 4)

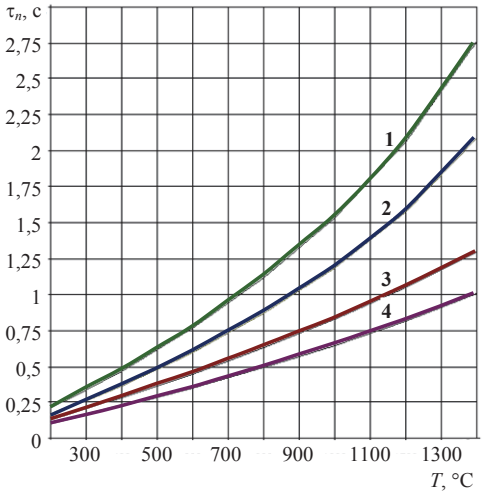


Рис. 6. Зависимость времени нагрева сферической частицы от конечной температуры нагрева при температуре газа 1900°С (1 и 2) и 3000°С (3 и 4) без учета (1 и 3) и с учетом (2 и 4) выделения летучих веществ

Скорость процесса газификации куска углеродистого материала, нагретого до температуры реакции, описывается уравнением [3, 8]

$$\frac{dg}{d\tau} = \beta S, \qquad (5)$$

где g – масса куска; $dg = \rho dV$; β – константа скорости; S – поверхность контакта фаз; ρ – плотность куска.

В сферических координатах элемент объема $dV = r^2 dr \sin\theta d\theta d\varphi$.

Площадь поверхности куска сферической формы радиусом r равна $S = 4\pi r^2$.

Время полной газификации rg нагретого до температуры реакции куска углеродистого материала с начальным радиусом r_0 до $r = 0$ определяется интегрированием уравнения (5) при начальном условии $r = r_0$ при $\tau = 0$.

$$\tau g = \frac{\rho r_0}{\beta}.$$

В табл. 1 приведены значения времени газификации нагретого до температуры

реакции газификации куска углеродистого материала при различных температурах в реакционной зоне и различных значениях энергии активации.

Таблица 1

Время газификации нагретого до температуры реакции газификации куска углеродистого материала, с

Диаметр куска углеродистого материала, см	Энергия активации, кДж/моль	Время газификации при нагреве до температуры			
		1400°C	**1450°C**	**1500°C**	**1550°C**
2	207,9	2420	1567	1040	710
2	103,9	2420	1947	1586	1310
3	207,9	3630	2350	1560	1060
3	103,9	3630	2920	2380	1960

В зоне нагрева и полукоксования время нагрева куска радиусом 0,01 м от 20°C до 800°C при коэффициенте теплоотдачи 27 Вт/м^{2}К и температуре газа 1000°C составляет 280 с, с учетом выхода летучих vq = 0,5 время нагрева сокращается до 190 с. В реакционной зоне время нагрева куска радиусом 0,01 м от 800°C до 1300°C при коэффициенте теплоотдачи 100 Вт/м^{2}К и температуре шлака 1400°C составляет 85 с, при 1500°C – 60 с. Время газификации существенно превышает время нагрева до температуры реакции, поскольку плотность кокса меньше плотности расплавленного шлака, образуется слой с высоким содержанием кокса.

Исследования электрического поля ванн электродных печей позволяют получить распределение плотности удельной мощности по объему рабочей зоны и определить среднюю удельную мощность рабочей зоны, равную отношению активной мощности $P_{рз}$, выделяющейся в рабочей зоне, к объему зоны $V_{рз}$:

$$p_0 = \frac{P_{рз}}{V_{рз}}, \quad V_{рз} = H_{рз} S_{рз},$$

где $S_{рз}$ – площадь рабочей зоны; $H_{рз}$ – высота рабочей зоны.

Расчеты электрического поля ванн электродных печей показали, что значения удельных объемных мощностей в приэлектродных областях более чем в 10 раз превышают средние удельные мощности [1, 4, 6]. Это позволяет получить в приэлектродных областях температуры, достаточные для полной газификации любых видов твердого топлива, а также для протекания процессов восстановления оксидов минеральной части топлива углеродом. Достигнутые на физической модели удельные объемные мощности приэлектродных областей 15-24 Вт/см^3 в несколько раз превышают значения удельных объемных мощностей ванн промышленных рудовосстановительных печей для производства углевосстановительными процессами ферросплавов, карбида кальция и фосфора [4]. Поэтому при термоэлектрической газификации можно обеспечить высокую температуру шлака, при которой будут происходить эндотермические процессы восстановления углеродом оксидов, входящих с состав минеральной части твердого топлива, с образованием оксида углерода и металлического сплава, содержащего восстановленные элементы. Все углевосстановительные процессы являются эндотермическими и протекают при высоких температурах [7].

Восстановление оксидов кремния

$$(SiO_2)+2C = [Si] + 2CO.$$

Термодинамическая температура начала реакции t = 1670°C в присутствии железа температура снижается до 1526°C.

$$(SiO_2)+3C = [Si] + 2CO.$$

Термодинамическая температура начала реакции t = 1523°C.

Восстановление оксидов железа

$$FeO + C = Fe + CO.$$

Температура начала реакции t = 1407°C.

$$FeSiO_3 + C = Fe + CO + SiO_2.$$

Температура начала реакции $t = 1410°C$.

Восстановление оксидов марганца

$$MnO + C = Mn + CO.$$

Температура начала реакции $t = 1407°C$.

Восстановление оксидов ванадия

$$V_2O_3 + C = 2VO_T + CO.$$

Температура начала реакции $t = 1203°C$.

$$VO_T + C = V_T + CO.$$

Температура начала реакции $t = 1573°C$.

$$VO_T + 2C = VC + CO.$$

Температура начала реакции $t = 1018°C$.

Восстановление оксидов титана

$$TiO_2 + 2C = Ti + 2CO.$$

Температура начала реакции $t = 1700°C$

$$TiO_2 + 3C = TiC + 2CO.$$

Температура начала реакции $t = 1220°C$.

Оксиды хрома могут быть восстановлены углеродом при температуре 1277-1327°C, оксиды никеля при температуре выше 527°C, оксиды вольфрама при температуре выше 687°C, оксиды молибдена при температуре выше 670°C.

Таким образом, при шлаковосстановительной плавке в установке термоэлектрической газификации возможно протекание углевосстановительных процессов с получением металлического сплава, содержащего кремний, марганец, ванадий, никель, вольфрам, хром.

Состав металлического сплава зависит от химического состава минеральной части топлива (табл. 2), количество сплава зависит от зольности топлива.

Таблица 2

Основные составляющие минеральной части золы каменных и бурых углей и торфа, %

Вид топлива	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO+MgO
Бурый уголь Назаровского месторождения	30,5	10,0	19	19,0
Бурый уголь Березовского месторождения	30,0	11,0	9,2	19
Торф	9,9-54,6	4,7-43,0	4,4-42,4	4,6-50,8
Древесина	1,9	3,4	41,1	0,85

Примечание. Табл. 2 составлена по данным [5].

Из табл. 2 видно, что при термоэлектрической газификации большинства твердых топлив шлак будет содержать значительное количество оксидов кремния, алюминия и железа, что позволяет получать ферросиликоалюминий и ферросилиций. Поскольку из всех содержащихся в шлаке оксидов в первую очередь углеродом восстанавливаются оксиды железа, количество металлического сплава в основном зависит от содержания оксидов железа. При газификации 1 т каменных углей и бурых углей с зольностью более 25% можно получить из шлака с высоким содержанием оксидов железа до 250 кг металлического сплава.

Выводы. Проведены исследования физико-химических механизмов термоэлектрической газификации и пиролиза твердого топлива с применением электронагрева. По результатам математического моделирования и экспериментальных исследований определены характеристики процессов термоэлектрической газификации твердых топлив, показана возможность проведения при газификации восстановительных процессов с получением металлических сплавов из минеральной части топлив. Исследование характеристик технологий переработки твердого топлива в электротермических установках показало возможность создания аллотермических газогенераторов с высокими технико-экономическими показателями.

Литература

1. *Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А.* Анализ технологий газификация твердого топлива // Вестник Чувашского университета. 2010. № 3. С. 194-205.

2. *Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А., Алексеев С.Н.* Исследование возможностей использования синтез-газа для стабилизации горения факела пылеугольных котлов// Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 100-104.

3. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки / *И.И Перелетов, Л.А. Бровкин, И.Ю. Розенгарт и др.*; под ред. А.Д. Ключникова. М.: Энергоатомиздат, 1989. 336 с.

4. Методические указания по определению распределения энергии в ваннах печей химической электротермии / *Г.М. Жилов, З.А. Валькова и др.* Л.: ЛенНИИГипрохим, 1985. 46 с.

5. *Мизин В.Г., Серов Г.В.* Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.

6. *Тарасов В.А., Ковалев В.Г., Лоскутов В.И.* Газификация твердых видов топлива с применением электронагрева // Вестник Чувашского университета. 2007. № 2. С. 170-178.

7. *Толстогузов Н.В.* Теоретические основы восстановления кремния: учеб. пособие. Новокузнецк: Кузбас. политехн. ин-т, 1990. 100 с.

8. Электротермические процессы химической технологии / под ред. В.А. Ершова. Л.: Химия, 1984. 464 с.

АФАНАСЬЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ. См. с. 169.

КОВАЛЕВ ВЛАДИМИР ГЕННАДЬЕВИЧ – кандидат технических наук, профессор, декан факультета энергетики и электротехники, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (espp21@mail.ru).

KOVALEV VLADIMIR GENNADYEVICH – candidate of technical sciences, professor, dean of Energy and Electrical Engineering faculty, head of Industrial Power Supply Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ТАРАСОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетических установок, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (Vladimir_tarasov@inbox.ru).

TARASOV VLADIMIR ALEXANDROVICH – candidate of technical sciences, associate professor of Thermal Power Plants Chair, Chuvash state University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.365, 534.22
ББК 31.35

В.В. АФАНАСЬЕВ, В.Г. КОВАЛЕВ,
В.А. ТАРАСОВ, В.В. ТАРАСОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗИФИКАТОРА

Ключевые слова: *электротермическая газификация, электрические режимы, статистическая обработка данных.*

Рассмотрены электрические режимы экспериментальной установки для исследования процессов электротермической газификации твердых видов топлива. Проведена статистическая обработка параметров электрического режима.

V.V. AFANASYEV, V.G. KOVALEV, V.A. TARASOV, V.V. TARASOVA

INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL MODES OF ELECTROTECHNOLOGICAL GASIFIER

Key words: *electrothermal gasification, power modes, the statistical treatment of the data.*

Considered electric modes of the experimental setup for the study of processes in electrogasification of solid fuels. Statistical processing parameters of the electric mode.

Для исследования электрических режимов при термоэлектрической газификации твердого топлива и углевосстановительных процессах были проведены серии экспериментов по газификации измельченного каменного угля в одноэлектродной

печи постоянного тока. Для образования расплавленного шлака в рабочее пространство электрошлакового газификатора добавляли применяемый при электрошлаковом переплаве флюс АНФ-6, содержащий 70% CaF_2 и 30% Al_2O_3. В качестве газифицирующего агента использовался воздух, который нагнетался компрессором. Для исследования возможности протекания углевосстановительных процессов в ванну добавлялся кварцевый песок. В экспериментах фиксировались ток электрода, напряжение на ванне и напряжение на выводах источника питания, в качестве которого использовался сварочный выпрямитель ВД-306 с падающей характеристикой.

В электродных установках для проведения восстановительных процессов напряжение между электродом и подиной (полезное фазное напряжение) исходя из теории подобия [4, 5] определяется по формуле

$$U_{\text{пол.ф}} = CP_{\text{э}}^{n}, \tag{1}$$

где $P_{\text{э}}$ – активная мощность ванны, приходящаяся на один электрод; C – электротехнологический параметр, зависящий от вида технологического процесса и определяющий взаимосвязь между основными электрическими и геометрическими параметрами печи; n – показатель степени, зависящий от характера протекающих в рабочем пространстве процессов [5]. Для установок, в которых основное выделение тепловой энергии происходит за счет растекания электрического тока по твердым и жидким материалам ванн по данным [4, 5], показатель степени n равен 1/3.

Ток электрода

$$I_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{U_{\text{пол.ф}}} \tag{2}$$

Активное фазное сопротивление ванны

$$R = \frac{U_{\text{пол.ф}}}{I_{\text{э}}} \tag{3}$$

Из выражений (1-3) следует, что

$$R = \frac{C^2}{P_{\text{э}}^{n}}. \tag{4}$$

Технологический параметр C для действующих печей находится путем статической обработки данных по электрическим режимам. Технологический параметр C может быть также определен по параметрам, характеризующим работу электрода и свойства шихтовых материалов [2].

Использование технологического параметра C, определенного на «образцовых» печах, возможно лишь при значениях плотности тока в электродах проектируемой печи и удельного сопротивления шихтовых материалов, примерно равных этим значениям для «образцовых» печей. Для вновь создаваемых установок и новых технологических процессов параметр C и другие характеристики электротехнологических режимов нужно определять физическим и математическим моделированием.

При обработке результатов исследования электрических режимов экспериментальной установки технологический параметр C определялся по измеренным току электрода и напряжению на ванне

$$C = \frac{U^{\frac{2}{3}}}{I^{\frac{1}{3}}}.$$

Были исследованы режимы резистивного нагрева измельченного углеродистого материала с добавлением измельченного флюса, когда при расплавлении флюса в реакционной зоне образовывалась смесь расплавленного шлака и измельченного угля, а также режим электрошлакового нагрева.

При резистивном нагреве измельченного углеродистого материала электрический режим характеризовался существенными колебаниями тока и напряжения на ванне, при добавлении флюса в реакционной зоне образовывалась смесь расплавленного шлака и измельченного угля, электрический режим несколько стабилизировался. В этом режиме в реакционной зоне ванны образовывался слой расплавленного шлака, по которому происходило растекание тока, вызывающее нагрев шлака до высокой температуры, которая превышает температуру расплавления стали, о чем свидетельствуют оплавление стального конца электрода. Поскольку удельная проводимость расплавленного шлака выше удельной проводимости углеродистых материалов, при расплавлении флюса активное сопротивление ванны снижалось. Образование сплошного слоя шлака вызывало существенное уменьшение активного сопротивления ванны, особенно при нахождении рабочего конца электрода в слое шлака.

При исследовании процесса полукоксования каменного угля через 7 мин начиналось выделение газа, содержащего метан, который фиксировался датчиком. Активное сопротивление ванны по мере нагрева снижалось вследствие увеличения удельной проводимости угля по мере нагрева и полукоксования. При исследовании процесса газификации полукокса через 20-25 мин начиналось интенсивное выделение синтез-газа, который воспламенялся при выходе из слоя углеродистого материала и на верхнем конце полого электрода.

Для исследования возможности протекания углевосстановительных процессов через 40 мин после начала нагрева добавлялся кварцевый песок, при этом резко возрастало активное сопротивление ванны, через 5 мин после добавления песка вблизи электрода начиналось интенсивное выделение синтез-газа, который воспламенялся при выходе из слоя углеродистого материала, что свидетельствует о протекании процессов восстановления кремния.

При окончании газификации углеродистого материала с добавлением кварцевого песка в ванне образовывался характерный для процессов производства углеродистых ферросплавов тигель (рис. 1).

В нижней части ванны при этом имелась шлакокарбидная настыль, характерная для процессов производства углеродистых ферросплавов (рис. 2).



Рис. 1. Тигель, образовавшийся при проведении газификации с добавлением кварцевого песка

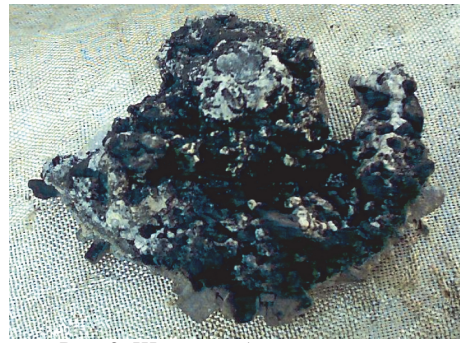


Рис. 2. Шлакокарбидная настыль, образовавшаяся при проведении газификации с добавлением кварцевого песка

По литературным данным [4], реакционные тигли и шлакокарбидные настыли имеются в ваннах печей для производства ферросилиция и кремния (рис. 3).

Поскольку электрические режимы при нагреве, газификации и восстановительных процессах характеризовались колебаниями тока и напряжения на ванне, электротехнологический газификатор следует рассматривать как стохастический объект. Поэтому была проведена статистическая обработка результатов экспериментального исследования электрических режимов работы печи постоянного тока при нагреве, полукоксовании и

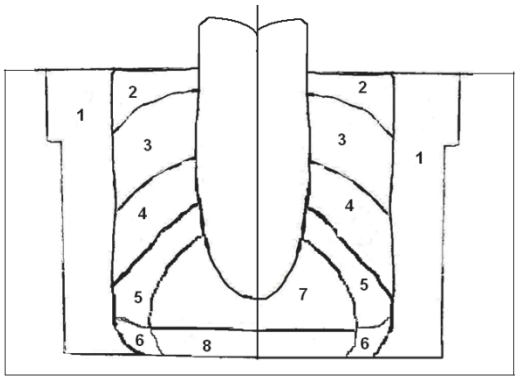


Рис. 3. Структура ванны печи
для производства ферросилиция и кремния:
1 – гарнисаж; 2 – исходная шихта; 3 – горячая шихта;
4 – размягченная шихта; 5 – зона восстановления;
6 – металлокарбидная настыль;
7 – подэлектродная полость; 8 – расплав

газификации с протеканием углевосстановительных процессов с помощью интегрированной системы STATISTICA, предназначенной для комплексного статистического анализа и обработки данных в среде программы Windows [3].

Для технологического параметра C и активного сопротивления ванны R определены такие основные характеристики, как: mean – среднее значение; varianse – дисперсия; Std. Dev – стандартное отклонение.

При регрессионном анализе исследовалась взаимосвязь между технологическим параметром C и активным сопротивление ванны. Были определены: коэффициент множественной корреляции; коэффициент детерминации; скорректированный коэффициент множественной корреляции; скорректированный коэффициент детерминации, а также свободный член уравнения; стандартная ошибка свободного члена уравнения; вероятность нулевой гипотезы для свободного члена уравнения; коэффициенты уравнения регрессии.

Результаты статистического анализа показали, что при добавлении кварцевого песка технологический параметр C и активное сопротивление ванны R существенно выше, чем при резистивном нагреве и газификации со шлаком, что объясняется изменением структуры ванны при протекании углевосстановительных процессов и образованием реакционного тигля и шлакокарбидной настыли.

Регрессионный анализ показывает, что корреляция между активным сопротивлением ванны R и технологическим параметром C высокая, взаимосвязь между этими величинами описывается выражением

$$R = a + bC^2.$$

Уравнения регрессии имеют вид:

Начало газификации угля с добавлением песка

$$R = 0{,}061479 + 0{,}048249C^2.$$

Это уравнение объясняет 65,3% испытаний.

Продолжение газификации угля с добавлением песка

$$R = 0{,}034887 + 0{,}060405C^2.$$

Это уравнение объясняет 65,2% испытаний.

Окончание газификации угля с добавлением песка

$$R = 0{,}0095864 + 0{,}088862C^2.$$

Это уравнение объясняет 97,1% испытаний.

Резистивный нагрев и газификация с шлаком

$$R = 0{,}012448 + 0{,}073246C^2.$$

Это уравнение объясняет 95,1% испытаний.

На рис. 4 приведены зависимости активного сопротивления ванны от технологического параметра, построенные по уравнениям регрессии, а также теоретическая зависимость по формуле (4).

Экспериментальные исследования процессов электротермической газификации позволяют определять основные электрические параметры одноэлектродной установки термоэлектрической газификации мощностью до 150 кВт при работе в шлаковом режиме (рис. 5).

Таблица 1

Результаты статистической обработки результатов экспериментального исследования различных режимов работы печи постоянного тока

Параметры	Газификация угля с добавлением песка			Резистивный нагрев и газификация угля со шлаком
	начало	продолжение	окончание	
Сопротивление ванны				
Среднее значение	0,23257	0,327	0,4827	0,1593
Дисперсия	0,0024	0,0041	0,0228	0,0109
Стандартное отклонение	0,043	0,064	0,151	0,1043
Технологический параметр C				
Среднее значение	1,872	2,194	2,3	1,314
Дисперсия	0,0485	0,039	0,126	0,291
Стандартное отклонение	0,220	0,198	0,355	0,539

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа результатов экспериментального исследования электрических режимов работы печи постоянного тока

Параметры	Газификация угля с добавлением песка			Резистивный нагрев и газификация угля со шлаком
	начало	продолжение	окончание	
Коэффициент множественной корреляции	0,808	0,8076	0,9854	0,975
Коэффициент детерминации	0,6528	0,6523	0,971	0,951
Скорректированный коэффициент детерминации	0,5834	0,565	0,967	0,948
Свободный член уравнения регрессии	0,061479	0,034887	0,009586	0,012448
Коэффициент уравнения регрессии	0,048	0,0604	0,08886	0,0732
Вероятность нулевой гипотезы для свободного члена уравнения	0,3305	0,7634	0,0218	0,18

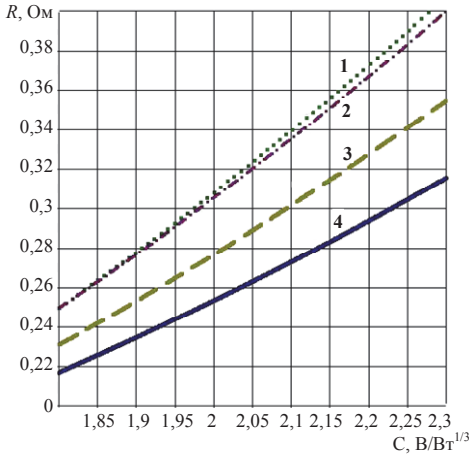


Рис. 4. Зависимости активного сопротивления ванны от технологического параметра: 1 – теоретическая зависимость; 2 – начало газификации угля с добавлением песка; 3 – продолжение газификации угля с добавлением песка; 4 – резистивный нагрев и газификация с шлаком

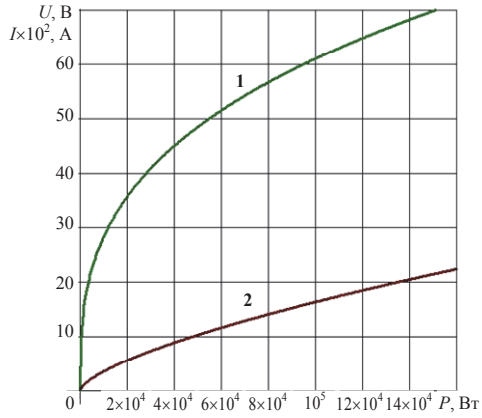


Рис. 5. Зависимости полезного фазного напряжения, тока электрода и активного сопротивления ванны от активной мощности

При заданной тепловой мощности сгорания синтез-газа *N*-секундный расход газифицируемого твердого топлива *G* определяется из выражения

$$G = \frac{N}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} v_{\text{г}}},$$

где $Q_{\text{р}}^{\text{н}}$ – рабочая низшая теплота сгорания генераторного газа; $v_{\text{г}}$ – удельный выход газа, зависящий от технологии газификации [2].

По определенному из энергетического баланса удельному расходу электроэнергии $w_{\text{эл}}$ и расходу твердого топлива *G* определяется активная мощность установки

$$P_{\text{а}} = \frac{N w_{\text{эл}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} v_{\text{г}}}.$$

Мощность, приходящая на один электрод:

$$P_{\text{эа}} = \frac{P_{\text{а}} \eta_{\text{эл}}}{m},$$

где *m* – число электродов; $\eta_{\text{эл}}$ – электрический КПД.

Полезное фазное напряжение электрод-подина

$$U_p = C P_{\text{эа}}^{1/3}.$$

Энергетический потенциал синтез-газа *Qg* определяется как произведение низшей теплоты сгорания газа на удельный выход газа

$$Qg = Q_{\text{н}}^{\text{р}} v_{\text{г}}.$$

В табл. 3 приведены показатели газификации каменного угля в соответствии с известными автотермическими технологиями без пропускания электрического тока через электрошлаковый расплав и расчетные показатели термоэлектрической газификации в электродных установках.

Таблица 3

Показатели различных технологий газификации каменного угля

Показатели		Способ газификации		
		автотермический (а.с. 1333686) [6]	**автотермический (патент 2422538)[1]**	**парокислородный термоэлектрический**
Расход	уголь, т/ч	19,77	24,332	14,8
	кислород, тыс. м^3/ч	16,475	14,434	5,25
	пар, т/ч	0,44	-	6,12
Выход	синтез-газ, тыс. м^3/ч	35,15	37,116	32,28
Содержание в синтез-газе оксида углерода и водорода, % объемные		90	79	98
Низшая теплота сгорания синтез-газа, МДж/м^3		10,242	9,7	11,54
Энергетический потенциал полученного в течение часа синтез-газа, ГДж		360	360	360

Из табл. 3 следует, что при термоэлектрической газификации твердое топливо и кислород используются более эффективно, чем при автотермической газификации, синтез-газ имеет более высокое содержание оксида углерода и водорода и более высокую теплоту сгорания.

В табл. 4, 5 приведены основные характеристики процессов термоэлектрической газификации каменного и бурого угля и электрические параметры электротермических установок, обеспечивающие получение синтез-газа с энергетическим потенциалом 360 ГДж.

Таблица 4

Основные характеристики процессов различных технологий термоэлектрической газификации каменного угля

Характеристики	Технология газификации		
	парокислородная	**паровая**	**кислородная**
Расход твердого топлива, т/ч	14,8	12,37	19,98
Расход пара, т/ч	6,12	10,1	-
Расход кислорода, тыс. $м^3$/ч	5,25	-	14,44
Удельный расход электроэнергии, МДж/кг	2,356	7,23	0,23
Активная мощность, МВт	9,7	24,84	1,28
Ток электрода, кА	23,5	44	6,1
Выход генераторного газа, $нм^3$/ч	31 200	31 200	31 200
Теплота сгорания газа, МДж/$нм^3$	11,54	11,54	11,54
Выход шлака, кг/ч	2200	1840	2970
Выход металлического сплава, кг/ч	330	275	400

Таблица 5

Основные характеристики процессов термоэлектрической газификации бурого угля

Характеристики	Технология газификации		
	парокислородная	**паровая**	**кислородная**
Расход твердого топлива, т/ч	24,61	20,74	30,95
Расход пара, т/ч	5,27	8,73	-
Расход кислорода, тыс.$м^3$/ч	4,53	-	7,99
Удельный расход электроэнергии, МДж/кг	2,83	5,08	0,1
Активная мощность, МВт	19,34	42	0,847
Ток электрода, кА	38,56	64,6	4,8
Выход генераторного газа, $нм^3$/ч	31 200	31 200	31 200
Теплота сгорания газа, МДж/$нм^3$	11,54	11,54	11,54
Выход шлака, кг/ч	1796	1510	2225
Выход металлического сплава, кг/ч	270	230	335

Выводы. Исследованы процессы термоэлектрической газификации твердого топлива в лабораторной электропечи постоянного тока, определены параметры электротехнологических режимов. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных по электрическим режимам. По результатам математического моделирования и экспериментальных исследований определены основные характеристики процессов термоэлектрической газификации твердых топлив и рассчитаны электрические режимы работы электротермических установок для переработки твердых топлив.

Литература

1. А.с. 1333686 СССР, С 10 J 3/08. Способ получения горючих газов из угля / В.А. Роменец, А.Б. Усачев, В.С. Валавин, В.Р. Гребенников. № 3926261/23-26; заявл. 10.07.1985; опубл. 30.08.1987, Бюл. № 32.

2. *Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А.* Определение параметров электрического режима установок электрошлаковой газификации // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 93-100.

3. *Боровиков В.П.* Популярное введение в систему STATISTICA. М.: Компьютер Пресс, 1998.

4. *Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И.* Теория и технология производства ферросплавов. М.: Металлургия, 1988. 784 с.

5. *Данцис Я.Б.* Методы электротехнических расчетов мощных электропечей. Л.: Энергоиздат, 1982. 232 с.

6. Пат. 2422538 РФ, МПК C21B 13/00 (2006.01), C10J 3/00 (2006.01). Способ металлургической многоцелевой газификации твердого топлива / Баласанов А.В., Усачев А.Б., Роменец В.А. и др.; патентообладатель Ин-т тепловых металлургических агрегатов и технологий “Стальпроект”, Московский ин-т стали и сплавов. № 2009122960/02; заявл. 17.06.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 18.

АФАНАСЬЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ. См. с. 169.
КОВАЛЕВ ВЛАДИМИР ГЕННАДЬЕВИЧ. См. с. 177.
ТАРАСОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ. См. с. 177.
ТАРАСОВА ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА – аспирантка кафедры теплоэнергетических установок, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (charming_cerl@rambler.ru).
TARASOVA VALENTINA VLADIMIROVNA – post-graduate student of Thermal Power Plants Chair, Chuvash state University, Russia, Cheboksary.

УДК 537.311.3, 537.622, 535.24.2, 538.945, 539.2
ББК 31.2 (Электроэнергетика. Электротехника)

В.В. КАЗАКОВ, О.В. КАЗАКОВ, Г.А. НЕМЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВЕРХРЕШЕТОК ДАЛЬНЕГО ПОРЯДКА В ФОЛЬГОВЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБМОТКАХ

Ключевые слова: *сверхрешетка, многослойные проводники, многослойные ферромагнетики, иерархические доменные группировки, магнитная проницаемость, гистерезис, магнитные группировки электронов, высокотемпературная гиперпроводимость, стержни-обмотки.*

Представлены результаты исследований, в ходе которых авторами были обнаружены эффекты: структурная упорядоченность спонтанной намагниченности слоистых ферромагнетиков с толщиной слоев более 50 мкм и толщиной неферромагнитных прослоек более 4 мкм, имеющая вид магнитных сверхрешеток, а также гиперпроводимость слоистых ферромагнетиков, наблюдаемая при изменении температуры вплоть до температур Кюри этих сверхрешеток. Эксперименты проводились над стержнями-обмотками, основным активным элементом разработанного авторами сверхкомпактного силового трансформатора. Эксперименты подтвердили теоретические дополнения авторов к теориям ферромагнетиков и электропроводности. Эффекты применимы при разработке ферромагнитных сердечников с повышенной магнитной проницаемостью и без гистерезисных потерь, а также при разработке гиперпроводящих обмоток, проводов, кабелей и проводников печатных плат, работающих при температурах свыше 300°С.

V.V. KAZAKOV, O.V. KAZAKOV, G.A. NEMZEV
RESEARCH OF MAGNETIC SUPERLATTICES OF A DISTANT ORDER IN THE FERROMAGNETIC FOIL WINDINGS

Key words: *superlattice, multilayered conductors, multilayered ferromagnetic materials, hysteresis, hierarchical domain groupings, magnetic permeability, a magnetic groupings of electrons, high-temperature hyperconductivity, cores-windings.*

In article the results of researches during which by authors had been found out an effects: the structure of the magnetic superlattices at spontaneous magnetization of the layered ferromagnetic metals having thickness of layers more than 50 microns and thickness of not ferromagnetic layers more than 4 microns, and the effect of hyperconductivity of the layered ferromagnetic metals which observed at the range of the temperature up to the Curie temperatures of these superlattices. Experiments were spent with the cores-windings, which are the basic active elements of the super compact power transformer designed by authors. Experiments have confirmed theoretical additions of authors to theories of the ferromagnetic materials and of the electrical conductivity. Effects may be applied at design of ferromagnetic cores with the raised magnetic permeability and without hysteresis losses, and at design of the hyperconducting windings, wires, cables and conductors of the printed-circuit-boards working at temperatures above than 300°C.

До настоящего времени было изучено единственное свойство слоистых ферромагнитных и антиферромагнитных материалов – высокое удельное электрическое сопротивление поперек плоскостям слоев этих материалов, возникающее под влиянием спонтанной намагниченности, значение которой в каждом слое материала соответствует намаг-

ниченности насыщения M_s, а направление – строго равномерно, но встречно по отношению к направлению намагниченности соседних слоев. Относительная магнитная проницаемость μ исходного ферромагнетика сверхвысокой чистоты превышает 10^6, поэтому соотношение его остаточной индукции и индукции насыщения в ферромагнитных слоях больше, чем $B_r/B_s = 0{,}9$. Конструкция устройства выбирается такой, что материал с такой высокоупорядоченной магнитной структурой, называемой структурой магнитных сверхрешеток, намагничивается внешним магнитным полем вдоль любого из этих двух направлений спонтанной намагниченности. Благодаря структуре сверхрешеток возникновение магнитных потоков, отклоняющихся от этих направлений, исключается. При этом из-за небольшого отличия толщины слоев материала насыщенная намагниченность четных или нечетных слоев А быстро приобретает такое же направление, какое имеет внешнее магнитное поле с напряженностью H. Поэтому изменение магнитной индукции $B(H)$ происходит за счет перемагничивания оставшихся слоев Б. При достижении одинаковой по направлению намагниченности насыщения слоев А и Б удельное электрическое сопротивление материала поперек плоскостям его слоев становится минимальным. Экспериментально подтвержденный эффект более чем 100-кратного изменения удельного сопротивления при перемагничивании слоистых ферромагнетиков [5], названный гигантской магниторезистивностью, используется в быстродействующих датчиках магнитного поля и магнитоуправляемых транзисторах. Для производства этих компактных электронных компонентов уже не требуется применение остальных свойств магнитных сверхрешеток, необходимых в других новых электромагнитных устройствах. Поэтому представителей новой отрасли электроники – магнитоэлектроники, или спинтроники, вполне устраивает предположение о том, что структура спонтанной намагниченности типа магнитных сверхрешеток возникает только при толщине ферромагнитных слоев до 12 нм и толщине неферромагнитных прослоек между ними до 2 нм.

Целью экспериментальных исследований является подтверждение следующих полученных авторами теоретических результатов, касающихся свойств, разновидностей и области применения слоистых ферромагнитных и антиферромагнитных материалов со свойством спонтанной намагниченности со структурой магнитных сверхрешеток.

1. Путем анализа известных эффектов осцилляции намагничивания, спонтанной остаточной намагниченности ферромагнитных сердечников, распространения и спектрального расщепления спиновых волн и изменения свойств ферромагнитных сердечников при поперечном намагничивании теория ферромагнетизма дополнена определением иерархических размерностей доменных группировок [3]. Согласно этому, как при спонтанной намагниченности ферромагнетиков, так и при их намагничивании, доменные группировки большей размерности образуются из-за неполного замыкания магнитных потоков доменных группировок предыдущей меньшей размерности. Преобладание количества доменных группировок большей размерности Λ, более массивных, но имеющих меньший коэффициент упругости k_Λ, обеспечивает большее значение относительной магнитной проницаемости μ материала. При этом при создании условий в ферромагнетике могут формироваться иерархические доменные группировки максимальной размерности, имеющие размер магнитной сверхрешетки или всего ферромагнитного сердечника. Наличие иерархических доменных группировок соответствует наличию в материале упорядоченных структур не только ближнего порядка, но и множества упорядоченных структур возрастающего периода повторения. Следовательно, структура менее жестких магнитных сверхрешеток может быть создана и за счет взаимодействия доменных группировок в стержне сердечника трансформатора с толщиной ферромагнитных слоев $d_ж$ свыше 50 мкм и неферромагнитных прослоек свыше 4 мкм. Такой стержень может быть изготовлен в виде фольговой обмотки из эмалированной калиброванной ленты чистого железа. Известная технология изготовления недорогой фольги сверхчистого железа [4] внедрена в производство. Признаками возникновения структуры магнитных сверхрешеток являются повышение магнитной проницаемости сердечника по сравнению с магнитной

проницаемостью исходного ферромагнетика и отсутствие остаточной намагниченности и коэрцитивной силы стержня при работе в магнитной системе трансформатора.

2. На основе анализа теорий электропроводности, криогенных сверхпроводимости и гиперпроводимости сделан вывод о возможности снижения влияния всех составляющих удельного сопротивления материала благодаря магнитной упорядоченности электронной структуры проводника в виде сверхрешеток ближнего и дальнего порядка:

$$\rho(T) = \rho_0 + \rho_э(T) + \rho_ф(T) + \rho_м(T), \quad (1)$$

где ρ_0 – остаточное удельное сопротивление, связанное с неупорядоченностью кристаллической структуры; $\rho_э(T)$ и $\rho_ф(T)$ – составляющие удельного сопротивления, связанные с кулоновским взаимодействием электронов проводимости и их взаимодействием с электронами внешних оболочек атомов; $\rho_м(T)$ – составляющая удельного сопротивления, связанная с магнитной неупорядоченностью системы электронов проводимости и электронов внешних оболочек атомов.

Дополнением к теории электропроводности является образование электромагнитных группировок электронов проводимости и электронов внешних оболочек атомов, обеспечивающих снижение удельного сопротивления проводника. Образование структуры магнитных сверхрешеток не только упорядочивает структуру материала, но и увеличивает температурную устойчивость таких группировок. Это должно проявляться многократным снижением удельного сопротивления в направлении вдоль слоев материала, перпендикулярном направлению намагниченности M материала. В качестве объекта исследования выбирается та же фольговая обмотка из эмалированной калиброванной ленты чистого железа.

Описание оборудования и объекта исследования. Для сравнения были выбраны одинаковые по размерам и материалу фольговые ферромагнитные обмотки, далее стержни-обмотки, изготовленные:

1) намоткой $N = 160$ витков одной эмалированной калиброванной ленты из чистого железа;

2) одновременной намоткой $N = 80$ витков двух эмалированных калиброванных лент из чистого железа, причем концы лент припаивались к общим выводам; в стержне-обмотке предполагалось возникновение условий спонтанной структуры магнитных сверхрешеток дальнего порядка;

3) одновременной намоткой $N = 80$ витков двух эмалированных калиброванных лент из чистого железа, причем концы лент припаивались к отдельным выводам; также предполагалось возникновение условий спонтанной структуры магнитных сверхрешеток дальнего порядка.

Размеры стержней-обмоток: внутренний радиус $R_0 = 3{,}25$ мм; внешний радиус $R = 11{,}5$ мм; высота $h_с = 26$ мм. Материал всех ферромагнитных элементов сердечника: калиброванная по ширине лента фольги из железа марки 08Ю производства ОАО «Ашинский металлургический завод» толщиной $d_ж = 50$ мкм, с четырехсторонней изоляцией лаком марки УР-231 толщиной $d_и = 2$ мкм. Изоляция торцов стержня-обмотки: конденсаторная бумага толщиной 10 мкм.

Площадь поперечного сечения съемного ярма равна $S_с = 23 \times 17 \approx 382$ мм^2, длина – 40 мм, а масса – 0,12 кг. L-образный ферромагнитный стержень имеет такое же поперечное сечение. Общая эффективная длина собранной магнитной цепи устройства равна $l_с \approx 170$ мм. Обмотка коррекции намагниченности содержит $N_{упр} = 500$ витков медного эмалированного провода с диаметром по меди 0,6 мм.

Все детали устройства, не относящиеся к элементам его ферромагнитного сердечника, а также крепежные детали и детали, расположенные вблизи от сердечника, выполнены из неферромагнитных материалов.

Электрическая схема устройства для измерений показана на рис. 1, *а*, а эскиз исследуемого стержня-обмотки – на рис. 1, *б*.

Исходя из соотношения R_0 и R, ампер-витки стержня-обмотки определяются по формуле $I_\Sigma = I \cdot N \cdot k_U \approx 0{,}41 \cdot I \cdot N$, где k_U – коэффициент геометрии стержня-обмот-

ки; $k_U = (R + 2R_0)/(3R + 3R_0)$ [3]. Регулируемое напряжение U на стержнях-обмотках измерялось вольтметром, а ток I – амперметром А1. Регулируемый ток $I_{упр}$ обмотки коррекции намагниченности измерялся амперметром А2. Для исключения влияния на результаты эксперимента при измерении магнитной индукции в стержнях-обмотках использовался метод прецизионного измерения силы отрыва незакрепленного ярма от замкнутой магнитной системы. Для исключения ошибочных выводов каждый опыт повторялся десятикратно при каждой комбинации токов в обмотках. Согласно измеренным значениям силы отрыва незакрепленного ярма по классическим уравнениям вычислялись значения магнитной индукции в стержнях-обмотках и их магнитная проницаемость.

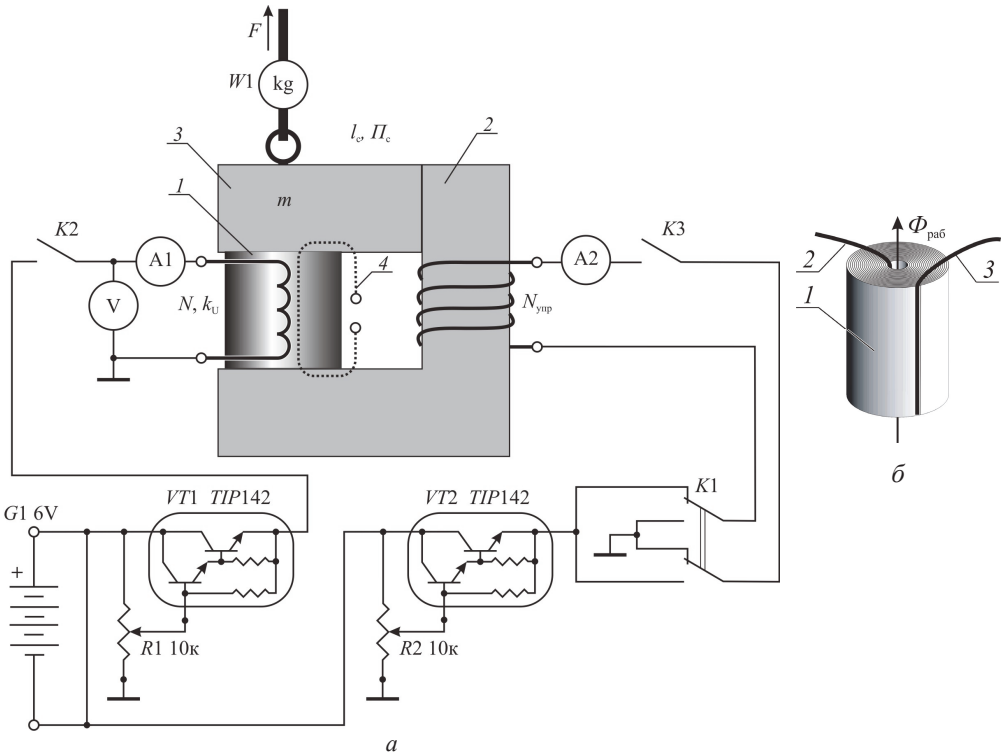


Рис. 1: *а* – схема электрических соединений устройства для измерений магнитной индукции, коэрцитивной силы и магниторезистивности стержней-обмоток, выполненных в виде рулонов из эмалированной калиброванной ленты чистого железа (*а*): 1 – исследуемый стержень-обмотка; 2 – шихтованный *L*-образный стержень сердечника, охваченный обмоткой коррекции намагниченности замкнутого ферромагнитного сердечника; 3 – незакрепленное шихтованное ярмо, верхняя часть которого через манометр *W*1 для определения силы отрыва $F_{отр}$ прикреплена к неупругому подъемному механизму; 4 – короткозамкнутый виток перпендикулярного размагничивания, снимающий влияние тока от внутреннего вывода стержня-обмотки 1; *б* – объект исследований: 1 – стержень-обмотка из эмалированной калиброванной ленты чистого железа; 2 – вывод от внутреннего конца железной ленты; 3 – вывод от наружного конца железной ленты

Измерение магнитной индукции *B*, коэрцитивной силы H_c и остаточной намагниченности B_r в стержнях и стержнях-обмотках. Энергия w единицы объема равномерно намагниченного ферромагнитного материала замкнутой магнитной цепи устройства и давление p прижима ее ярма к ее намагниченному стержню или стержню-обмотке определяются вычислением согласно классической формуле [2]

$p = w = \frac{B^2}{2\mu_0}$ по определенной опытным путем силе отрыва ярма от стержня-обмотки $F_{отр} = p \cdot S_c$, где B – индукция магнитного поля вдоль замкнутой магнитной цепи; μ_0 – полная магнитная проницаемость вакуума; S_c – поперечное сечение сердечника. С учетом погрешностей, неизбежных при определении магнитного сопротивления цепи, допускается, что магнитная индукция вдоль цепи распределена одинаково. Тогда значение B, с приемлемой для дальнейших расчетов точностью, определится по известной формуле:

$$B = \sqrt{\frac{2\mu_0 F_{отр}}{S_c}}. \quad (2)$$

Вычисления значений B осуществлялись по измеренным значениям силы $F_{отр}$ отрыва незакрепленного ярма при различных значениях постоянного тока $I_{упр}$, подаваемого на обмотку $N_{упр}$ коррекции намагниченности. Напряженность H магнитного поля в магнитной цепи устройства при этом также определялась по известной формуле:

$$H = \frac{I_{упр} \cdot N_{упр}}{l_c}. \quad (3)$$

Значения B_r определялись по силе $F_{отр}$ отрыва ярма сразу после отключения установленного тока $I_{упр\ макс}$, при котором происходило насыщение намагниченности ферромагнитных АЭ, а значения H_c – при повторном опыте, по значению плавно нарастающего тока $I_{упр\ инв}$, встречного току $I_{упр\ макс}$, при котором обеспечивалось условие $F_{отр} = 0$.

Результаты вычислений B_s, B_r и H_c по формулам (2) и (3), полученные согласно измеренным значениям $F_{отр}$ и $I_{упр\ инв}$, и среднее значение μ стержня-обмотки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вычисленные значения B_s, B_r, H_c и $\mu_{ср}$ стержней-обмоток

Вид конструкции стержня сердечника	B_s, Тл	B_r, Тл	H_c, А/м	$\mu_{ср}$
Стержень-обмотка (1) из одной ленты	2,1	0,19	118	1200
Стержни-обмотки (2, 3) из двух лент	2,1	0	0	20 000

При измерении остаточной намагниченности было обнаружено, что в образцах (2) и (3) остаточная намагниченность при отрыве ярма равна 0. Магнитная проницаемость образцов (2) и (3) также оказалась почти в 17 раз выше, чем у образца (1). Следовательно, в этих образцах спонтанная намагниченность имеет структуру магнитных сверхрешеток.

Открытый в этих опытах эффект подтверждает теоретический вывод о возможности формирования магнитных сверхрешеток благодаря взаимодействию доменных группировок высокой размерности в слоистых ферромагнетиках при толщине их слоев выше 50 мкм. Ранее считалось, что структура магнитных сверхрешеток возможна только в материалах с толщиной слоев до 100 нм.

Измерение магниторезистивности стержней-обмоток. Магнитное поле в замкнутой магнитной системе, содержащей исследуемый стрежень-обмотку, наводилось токами, устанавливаемыми внешними источниками напряжения в этом стержне-обмотке (ток I) и в обмотке коррекции намагниченности (ток $I_{упр}$). При этом использовались разные сочетания значений и направлений этих токов. Измерения сопротивления стержня-обмотки осуществлялись по известному методу вольтметра-амперметра по схеме на рис. 1, *а*.

Результаты измерения удельного сопротивления стержня-обмотки, выполненного из однослойной изолированной железной ленты, приведены на рис. 2, результаты измерения удельного сопротивления стержня-обмотки, выполненного одновременной намоткой двух изолированных железных лент, одноименные концы которых (рис. 1, *б*) припаивались друг к другу, – на рис. 3. Измерения проводились при темпе-

ратуре $t = 20°C$. Результаты сравнивались с расчетным и измеренным значениями резистивного сопротивления R вытянутой ленты без наложения на нее внешнего магнитного поля. Так как удельное сопротивление железной ленты, примененной в стержнях-обмотках, равно $\rho_{20°C} \approx 0{,}16$ мкОм·м, а площадь ее поперечного сечения равна $S_{пр} = 1{,}3$ мм^2, для стержня-обмотки с однослойными витками с длиной ленты $l_{пр} \approx 7{,}665$ м ее сопротивление равно $R = 0{,}9$ Ом, а для стержня-обмотки с двухслойными витками с длиной параллельной сборки лент $l_{пр} \approx 3{,}833$ м сопротивление параллельного соединения этих лент равно $R = 0{,}26$ Ом.

Анализ экспериментально полученных графиков (рис. 2) показывает, что сопротивление R ленты в стержнях-обмотках становится меньше, причем изменением средней намагниченности стержня-обмотки с однослойными витками это сопротивление можно изменять в пределах от 0,357 до 0,556 Ом. При этом все зависимости R ($I_{упр}$, I) для этого стержня-обмотки сначала имеют нарастающий, а затем спадающий характер, т.е. значением R можно управлять по сравнению с начальным его значением в пределе увеличивая на 11% или уменьшая на 29%.

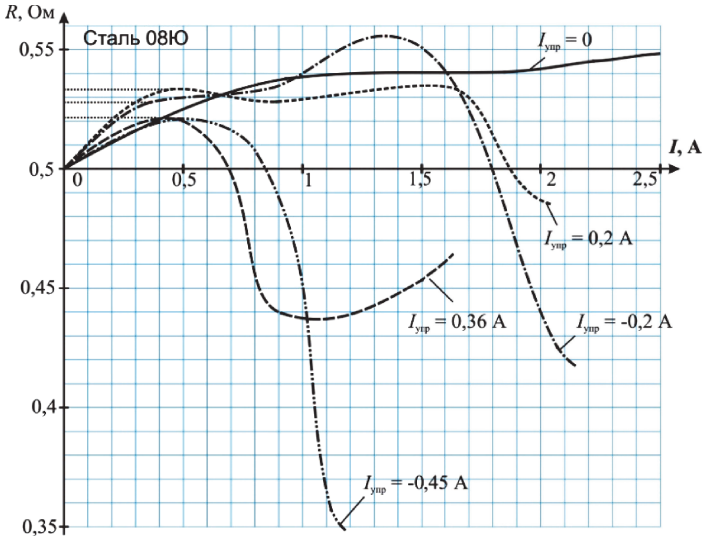


Рис. 2. Изменение сопротивления между выводами стержня-обмотки из однослойной ленты при его намагничивании магнитным полем тока I, протекающего по его виткам, и тока $I_{упр}$ в обмотке коррекции намагниченности сердечника

Анализ графиков (рис. 3), относящихся к стержню-обмотке с двухслойными витками, также показывает уменьшение начального сопротивления R ленты в стержнях-обмотках по сравнению с сопротивлением вытянутой ленты. Однако диапазон регулирования удельного сопротивления железа в этом случае увеличивается. Изменением намагниченности стержня-обмотки сопротивление R можно увеличить в пределе до 0,217 Ом и уменьшить до 0,04 Ом, т.е. увеличить на 62% и уменьшить на 67%. При $I_{упр} = -0{,}51$ А была достигнуты линейная зависимость $R(I)$ и минимальное значение R, на 85% меньшее сопротивление вытянутой двойной железной ленты.

Причина отличия графиков, показанных на рис. 2 и 3, заключается в следующем. В слоистой структуре ферромагнетика, возникающей при намотке стержня-обмотки тонкой эмалированной железной лентой, благодаря ферромагнитному взаимодействию соседних слоев этой ленты спонтанно формируется структура магнитной сверхрешетки.

Однако в стержне-обмотке из однослойной ленты соседними ферромагнитными слоями материала являются соседние витки стержня-обмотки, т.е. соседние участки

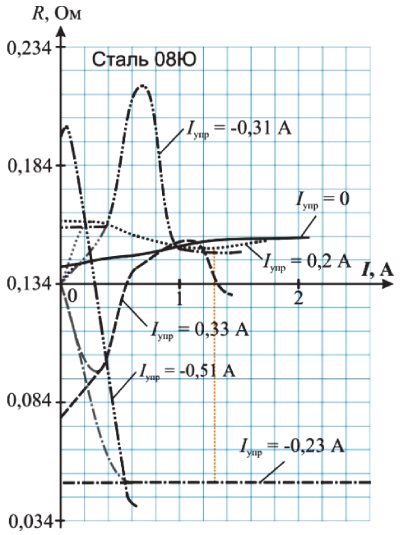
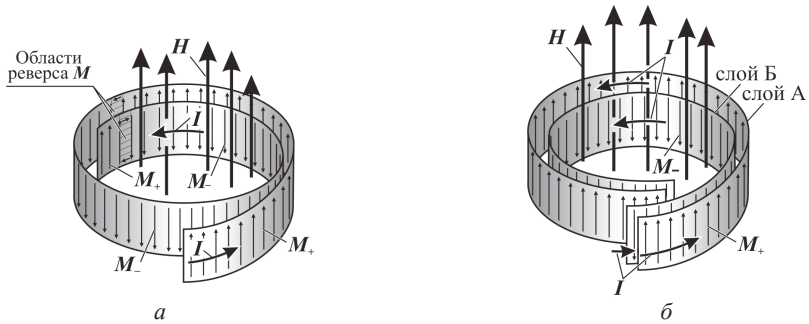


Рис. 3. Изменение сопротивления между выводами стержня-обмотки из двухслойной ленты при его намагничивании магнитным полем тока I, протекающего по его виткам, и тока $I_{упр}$ в обмотке коррекции намагниченности сердечника

одной и той же железной ленты. Спонтанная намагниченность каждого участка ленты будет встречной по отношению к спонтанной намагниченности ее смежных участков (рис. 4, *а*).

Тогда благодаря строгой структуре магнитной сверхрешетки удельное сопротивление материала на тех участках ленты, где ее намагниченность M_+ совпадает по направлению со средней индукцией B магнитного поля в замкнутом сердечнике устройства измерения, имеет наименьшее значение.

На участках железной ленты, где ее намагниченность M_- направлена встречно магнитной индукции B замкнутого сердечника, по мере роста B сначала будет наблюдаться размагничивание, т.е. уменьшение размерностей доменных группировок [4] и снижение упорядоченности магнитной структуры материала. На этом этапе перемагничивания удельное сопротивление таких участков железной ленты будет нарастать по мере увеличения B. Далее намагниченность M этих участков, уже совпадая с направлением магнитной индукции B в сердечнике, увеличивается. При этом возрастает размерность доменных группировок на этих участках, т.е. возрастает упорядоченность их структуры, и удельное сопротивление уменьшается. Наибольшим удельным сопротивлением обладают короткие участки ленты протяженностью $\lambda \approx 300$ мкм [6], в начале которых спонтанно, т.е. без влияния внешнего поля, расположены границы между участками со встречными направлениями намагниченностей M_+ и M_-, имеющие толщину $\delta_\mu \approx 2$ нм и называемые доменными стенками Блоха [1]. Это связано с тем, что электроны быстро проходят через границы δ_μ смены намагниченности с M_+ на M_-, и, имея аномально высокую длину пробега $\lambda \approx 300$ мкм до перемены направления их магнитных моментов с μ_{B+} на μ_{B-}, отклоняются от направления тока.



а *б*

Рис. 4. Направления спонтанной намагниченности со структурой магнитных сверхрешеток, возникающих в стержнях-обмотках, изготовленных: *а* – намоткой однослойной эмалированной железной ленты; *б* – намоткой одновременно двумя эмалированными железными лентами, где M_+ – спонтанная намагниченность в направлении внешнего магнитного поля напряженностью H; M_- – спонтанная намагниченность в направлении, противоположном направлению H

В стержне-обмотке, намотанном одновременно двумя эмалированными железными лентами, концы которых электрически соединены вместе, спонтанная намагниченность вдоль лент имеет постоянные значение и направление (рис. 4, *б*). При этом лента наружного слоя А витков приобретает намагниченность M_+, а лента внутреннего слоя Б витков приобретает намагниченность M_-, т.е. наружный слой А структурно более упорядочен и имеет минимальное удельное сопротивление, а сопротивление слоя Б изменяется при перемагничивании материала. Однако суммарное удельное сопротивление материала в стержне-обмотке из двухслойной ленты меньше, чем удельное сопротивление материала в стержне-обмотке из однослойной ленты. Поэтому слой Б априорно представляется относительно тонкой лентой с меньшей магнитной проницаемостью и не используется в качестве токопроводящего слоя.

Результаты измерения магниторезистивности слоя А, полученные при отсоединенных от электрической цепи концах ленты Б внутреннего слоя витков, показаны на графиках рис. 5. При токе обмотки коррекции намагниченности $I_{упр} = 0{,}5$ А сопротивление ленты в стержне-обмотке снизилось до значения $R \approx 0{,}045$ Ом, хотя ее сопротивление в вытянутом положении было равно $R \approx 0{,}45$ Ом. Полученное в опыте удельное сопротивление железа с упорядоченной магнитной структурой при температуре $T = 20°C$ оказалось равным $\rho_{Fe\ структ} \approx 0{,}0093$ мкОм·м, т.е. в 1,72 раза меньше удельного сопротивления серебра $\rho_{Ag} \approx 0{,}016$. В опытах над стержнем-обмоткой, изготовленным из двухслойной эмалированной калиброванной ленты сверхчистого железа, проведенных при переменных токах частотой $f = 50$ Гц, в этих же условиях был достигнут результат 6,5-кратного снижения удельного сопротивления по сравнению с таковым при использовании для этих целей серебра.

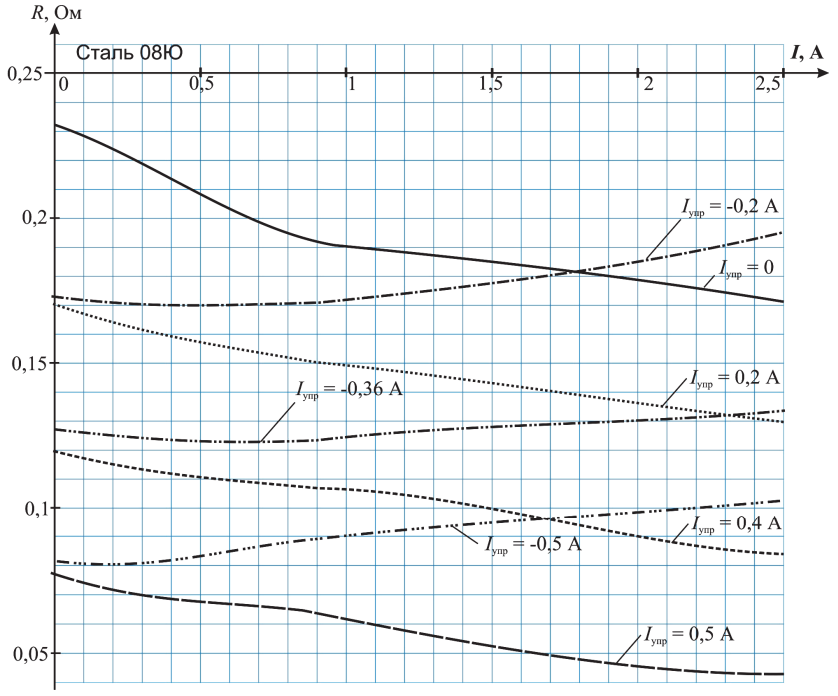


Рис. 5. Магниторезистивность слоя со спонтанной намагниченностью M_+

Открытый в этом опыте эффект подтверждает возможность гиперпроводимости в слоенных ферромагнитных проводниках, т.е. в специально конструкционно-упорядоченных ферромагнитных проводниках, при температурах вплоть до температур Кюри магнитных сверхрешеток в этих материалах. Отметим, что температуры Кюри магнит-

ных сверхрешеток, самопроизвольно возникающих в слоенном ферромагнетике, более чем в 2-3 раза ниже температуры Кюри исходного монолитного ферромагнетика. Это связано с тем, что коэффициент упругости k_Λ и предел прочности доменных группировок такой большой размерности, как сверхрешетки, более чем в 2-3 раза меньше коэффициентов упругости и пределов прочности доменных группировок меньшей размерности, характерных для обычного спонтанно намагничивающегося монолитного ферромагнетика. Например, в рассмотренных опытах со стержнями-обмотками, в которых слоистость железа достигалась в результате их намотки, температура Кюри сверхрешеток оказалась выше 300°С, но ниже температуры Кюри сплошного чистого железа, равной 774°С.

Выводы. 1. Обнаруженный эффект спонтанной намагниченности со структурой магнитных сверхрешеток в слоистых ферромагнетиках с толщиной слоев более 50 мкм и толщиной неферромагнитных прослоек более 4 мкм подтверждает дополнение авторов к теории ферромагнетизма. Эффект может учитываться при разработке сердечников электромагнитных устройств с повышенной магнитной проницаемостью и без потерь на гистерезис перемагничивания.

2. Обнаруженный эффект многократного уменьшения удельного сопротивления, связанный с возникновением структуры магнитных сверхрешеток в слоистых ферромагнитных проводниках, подтверждает дополнение авторов к теории электропроводности. Эффект может учитываться при разработке обмоток электромагнитных устройств, обладающих гиперпроводимостью до температур Кюри магнитных сверхрешеток в используемом проводнике. Планируется использование эффекта и при выпуске новых типов гиперпроводящих проводов, кабелей, проводников печатных плат, антенн.

3. Обнаруженные эффекты доказывают не только возможность, но и целесообразность использования стержней-обмоток в качестве основных активных элементов электромагнитных устройств, заменяя ими традиционные сердечники и обмотки.

Литература

1. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.

2. *Зильберман Г.Е.* Электричество и магнетизм: учеб. пособие. М.: Наука, 1970. 384 с.

3. *Казаков О.В., Казаков В.В., Немцев Г.А.* Трансформаторы с уменьшенными бросками тока намагничивания и гистерезиса сердечника // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. Вып. 7. С. 235-252.

4. Пат. RU 2470097 C2, МПК C25D1/04, C23D16/08, C23D22/05, C23D16/16. Способ изготовления фольги из чистого ферромагнитного металла и устройство для его осуществления (варианты) / Казаков О.В., Вафин Ш.И, Казаков В.В.; патентообладатель Казанский гос. энергетический ун-т. № 2010137367/02; заявл. 07.09.2010 г.; опубл. 20.12.2012. Бюл. № 35. 18 с.

5. *Binasch G., Grünberg P., Saurenbach F., Zinn W.* Enhanced magnetoresistance in layered magnetic-structures with antiferromagnetic interlayer exchange // Physical Review B. 1998. № 39(7). P. 4828-4830.

6. *Huang B., Monsma D.J., Appelbaum I.* Coherent Spin Transport through a 350-Micron Thick Silicon Wafer // Physical Review Letters. 2007. Vol. 99. P. 177-209.

КАЗАКОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ – соискатель ученой степени кандидата технических наук кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (kvladimir3@yandex.ru).

KAZAKOV VLADIMIR VIKTOROVICH – a competitor of scientific degree of Technical Sciences candidate of Electric Power Industry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КАЗАКОВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ – инженер-программист, Чебоксарский кооперативный институт, Россия, Чебоксары (ra_unity21@mail.ru).

KAZAKOV OLEG VLADIMIROVICH – software engineer, Cheboksary Cooperative Institute, Russia, Cheboksary.

НЕМЦЕВ ГЕННАДИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (espp21@mail.ru).

NEMZEV GENNADIY ALEKSANDROVICH – doctor of technical sciences, professor of Electric Power Industry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 541.13
ББК 31.241

Г.А. КРАВЧЕНКО, А.М. МАКАРОВ, Ю.П. ПИЧУГИН

ОЦЕНКА РЕСУРСА СИСТЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА С МНОГОСЛОЙНЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ БАРЬЕРОМ

Ключевые слова: *барьерный разряд, синтез озона, диэлектрический барьер.*

Рассмотрена система электродов генератора озона барьерного типа, отличающаяся от известных наличием многослойного диэлектрического барьера. С целью повышения ресурса работы диэлектрический барьер покрыт термокороностойким слоем. Проведена оценка влияния конструкции диэлектрического барьера системы высоковольтных электродов на ресурс работы генератора озона.

G.A. KRAVCHENKO, A.M. MAKAROV, Yu.P. PICHUGIN

RESOURCE ASSESSMENT OF OZONE GENERATOR HIGH VOLTAGE ELECTRODES WITH MULTILAYER DIELECTRIC BARRIER

Key words: *barrier discharge, ozone synthesis, a dielectric barrier.*

We consider a system of electrodes, barrier-type ozone generator, which differs from the known presence of a multilayer dielectric barrier. In order to increase the service life of a dielectric coated with a protective barrier layer. In the work the influence of the design of high voltage dielectric barrier electrodes on the life of the ozone generator.

Озон широко используется во многих отраслях промышленности: химической, целлюлозно-бумажной, пищевой, металлургической, фармацевтической, текстильной, в сельском хозяйстве, медицине и т.д. В настоящее время наиболее распространенным способом получения озона является его генерация в области барьерного разряда.

Барьерный разряд представляет собой разряд в узком газовом зазоре между электродами, разделенными слоем твердого диэлектрика (диэлектрическим барьером). Конструкция системы высоковольтных электродов плоского озонатора представлена на рис. 1. Когда амплитуда приложенного к электродам переменного напряжения превысит пробивное напряжение газового промежутка, в нем возникает разряд, состоящий из большого числа отдельных микроразрядов, дискретных в пространстве и во времени.

Основным недостатком генераторов озона, работающих на барьерном разряде, является недостаточный ресурс их работы. Наиболее частая причина выхода генератора озона из строя – это электрический пробой диэлектрического барьера. Установлено, что одной из основных причин разрушения диэлектрических барьеров является воздействие микроразрядов [1]. В электроизоляционной технике для длительной работы электрической изоляции стремятся исключить или свести до минимума воздействие частичных разрядов на диэлектрик. В озонаторах это невозможно, так как зона микроразрядов – это рабочая область, где генерируется озон.

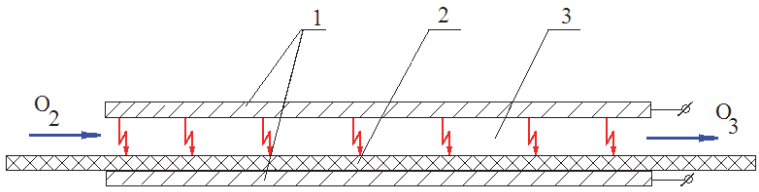


Рис. 1. Конструкция системы высоковольтных электродов плоского озонатора барьерного типа:
1 – электроды; 2 – диэлектрический барьер; 3 – зона разряда

Существуют несколько направлений, по которым ведутся исследования в области повышения ресурса работы озонаторных установок. В частности, это поиск и разработка наиболее стойких материалов для барьера, использование специальных конструкций при проектировании озонаторных установок. Одним из важных направлений повышения ресурса является усовершенствование диэлектрических барьеров.

В лаборатории «озона и озонных технологий» Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова был разработан ряд конструкций озонаторных установок с многослойными барьерами [3]. На основе данных разработок были созданы модели систем высоковольтных электродов генераторов озона. Конструкция модели с плоскими электродами представлена на рис. 2.

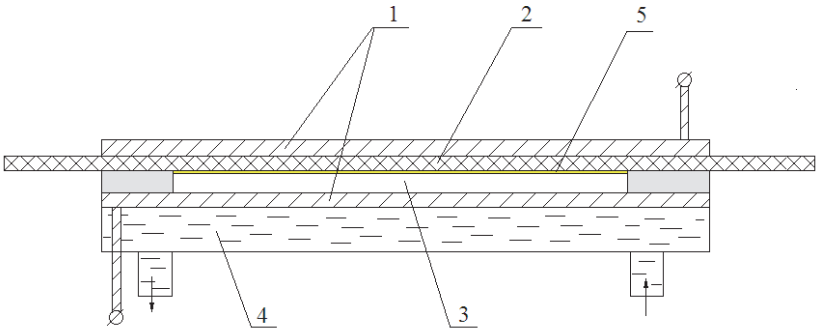


Рис. 2. Модель системы высоковольтных электродов генератора озона:
1 – плоские электроды; 2 – диэлектрический барьер; 3 – воздушный зазор;
4 – водяное охлаждение; 5 – короностойкое покрытие

По методике, приведенной в работе [1], были проведены ускоренные испытания разработанных моделей. Форсированные испытания проводились при частоте 400 Гц и напряжении от 6 до 10 кВ с целью сокращения времени экспериментов.

Целью данной работы является оценка ресурса модели озонатора с многослойным диэлектрическим барьером при работе в нормальном режиме.

Для электроизоляционных конструкций обязательным является определение так называемой «кривой жизни» изоляции – зависимости электрической прочности от времени воздействия приложенного напряжения. Построение «кривой жизни» требует значительного времени и больших трудозатрат, при этом разброс экспериментальных данных в этих испытаниях весьма значителен.

Основной причиной снижения электрических характеристик при длительном воздействии напряжения являются процессы старения, происходящие в элементах конструкции под действием электрического и теплового полей. Эти процессы усиливаются в результате явлений ионизации и местных перегревов электрической изоляции, что приводит к изменению физико-химических свойств диэлектрика, уменьшению электрической прочности, а далее к пробою.

Для получения кривой жизни предложенная модель озонатора подвергалась действию напряжения установленного значения, и в каждом случае определялось время выдержки модели озонатора под напряжением до момента наступления пробоя. Экспериментально был получен значительный разброс данных по времени работы озонатора при одних и тех же внешних условиях (напряжение, частота). Поэтому испытания проводились для нескольких образцов (от 3 до 5), и за результат принимались средние значения времени выдержки до пробоя.

Экстраполировать кривую жизни в прямолинейных координатах практически невозможно. Для возможности эктраполяции «кривая жизни» была построена в координатах, в которых она принимает вид прямой, пересекающей ось ординат при

значении времени $t = \infty$. Для этого по оси абсцисс откладывалась величина, обратно пропорциональная $\sqrt[n]{\tau}$.Уравнение этой прямой имеет вид

$$U_t = U_{\text{пр}\infty} + \frac{\Delta U}{\sqrt[n]{\tau}},$$

где величина $U_{\text{пр}\infty}$ равна пробивному напряжению при бесконечной длительности приложенного напряжения [2]. Пример определения $U_{\text{пр}\infty}$ приведен на рис. 3.

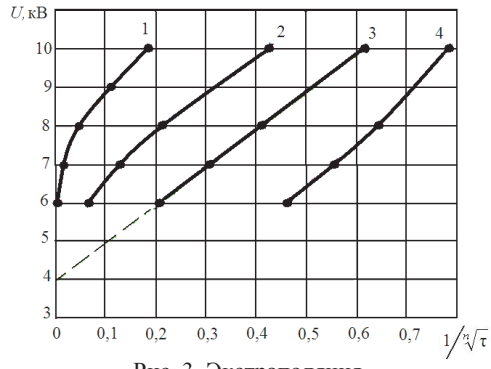


Рис. 3. Экстраполяция экспериментальных данных для получения расчетного значения $U_{\text{пр}\infty}$ для модели с многослойным диэлектрическим барьером: 1 – n = 2; 2 – n = 4; 3 – n = 7; 4 – n = 14

Для построения кривых были проведены временные испытания моделей озонаторов при разных напряжениях.

В табл. 1 приведены результаты экспериментов и расчетов для модели генератора озона с многослойным диэлектрическим барьером из гетинакса толщиной 1 мм при испытаниях на частоте 400 Гц.

На основе анализа полученных расчетных кривых, представленных на рис. 3, установлено, что спрямление характеристики $U_{\text{пр}\infty} = f\left(1/\sqrt[n]{\tau}\right)$ происходит при n = 7. При этом значении n расчетная прямая пересекает ось напряжения при бесконечном времени приложения напряжения в точке $U_{\text{пр}\infty}$ = 4 кВ.

Экспериментальные данные по электрической прочности гетинакса, текстолита и других материалов, применяемых в качестве диэлектрических барьеров в генераторах озона, характеризуются значительным разбросом. Поэтому для испытаний выбирались конкретные материалы из одной партии. Испытания проводились по возможности в одинаковых внешних условиях.

В табл. 2 приведены экспериментальные и расчетные данные по зависимости электрической прочности от времени для модели генератора озона с диэлектрическим барьером из гетинакса без защитного покрытия.

По полученным расчетным кривым, представленным на рис. 4 видно, что спрямление характеристики $U_{\text{пр}\infty} = f\left(\dfrac{1}{\sqrt[n]{\tau}}\right)$ происходит при n = 7.

В этом случае расчетная прямая пересекает ось напряжения при бесконечном времени приложения напряжения в точке $U_{\text{пр}\infty}$ = 0,75 кВ.

Полученные результаты позволили определить ресурс при любом напряжении на системе электродов,

Таблица 1

Таблица экспериментальных и расчетных данных для модели с многослойным барьером

Напряжение *U*, кВ	**Время работы модели до пробоя τ, мин**	**Расчетные данные**			
		$\frac{1}{\sqrt[2]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[4]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[7]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[14]{\tau}}$
10	30	0,183	0,427	0,615	0,784
8	532	0,043	0,208	0,408	0,639
7	4211	0,015	0,124	0,304	0,551
6	59 307	0,0041	0,064	0,208	0,456

Таблица 2

Таблица экспериментальных и расчетных данных для модели с диэлектрическим барьером без защитного покрытия

Напряжение *U*, кВ	**Время работы модели до пробоя τ, мин**	**Расчетные данные**			
		$\frac{1}{\sqrt[2]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[4]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[7]{\tau}}$	$\frac{1}{\sqrt[12]{\tau}}$
10	10	0,316	0,562	0,72	0,825
8	62	0,127	0,356	0,555	0,709
6	523	0,044	0,209	0,409	0,594
5	2317	0,021	0,144	0,331	0,524

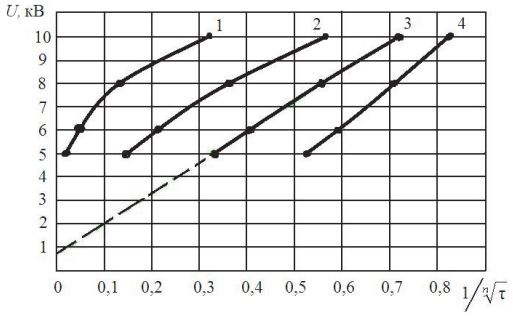


Рис. 4. Экстраполяция экспериментальных данных для получения расчетного значения $U_{\text{пр}\,\infty}$ для модели с диэлектрическим барьером без защитного покрытия: 1 – n = 2; 2 – n = 4; 3 – n = 7; 4 – n = 12

а также решить обратную задачу по определению рабочего напряжения электродной системы генератора озона при заданном ресурсе.

В качестве примера для времени 10 000 ч рабочее напряжение, рассчитанное по экспериментальным данным для модели с многослойным барьером, составило около 5 кВ, что является обычным рабочим напряжением для генераторов озона такого типа.

При таком же напряжении генератор озона с диэлектрическим барьером из гетинакса без защитного покрытия имел расчетный ресурс около 50 ч.

Таким образом, в результате проделанной работы было установлено, что применение короностойкого и термостойкого покрытия приводит к существенному увеличению долговременной электрической прочности диэлектрических барьеров генератора озона.

Литература

1. *Кравченко Г.А.* Исследование высокоресурсного диэлектрического барьера для генераторов озона // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 100-103.

2. Основы кабельной техники: учеб. пособие для втузов / *В.А. Привезенцев, И.И. Гроднев, С.Д. Холодный и др.*; ред. В.А. Привезенцев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1975. 472 с.

3. Пат. 2355627 РФ, МПК C01B 13/11. Устройство для генерирования озона / авт.: Пичугин Ю.П., Кравченко Г.А.; заявитель и патентообладатель Чуваш. гос. ун-т. № 2007135585/15; заявл. 25.09.2007 г.; опубл. 20.05.2009 г., Бюл. № 5. 5 с.

КРАВЧЕНКО ГАЛИНА АЛЕКСЕЕВНА – старший преподаватель кафедры электромеханики и технологии электротехнического производства, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (krav68@bk.ru).

KRAVCHENKO GALINA ALEKSEEVNA – senior teacher of Electromechanics and Electrotechnical Production Technology Chair, Chuvash State University, Russia Cheboksary.

МАКАРОВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и технологии электротехнического производства, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

MAKAROV ALEXEY MIKHAYLOVICH – candidate of technical sciences, assistant professor of Electromechanics and Electrotechnical Production Technology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ПИЧУГИН ЮРИЙ ПЕТРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и технологии электротехнического производства, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (Pichugin 1945@km.ru).

PICHUGIN YURIY PETROVICH – candidate of technical sciences, assistant professor of Electromechanics and Electrotechnical Production Technology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.316.925
ББК 31.277.1

А.Л. КУЛИКОВ, А.Н. КЛЮКИН

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ 110-750 кВ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ключевые слова: *релейная защита, эффективность функционирования, вероятность излишней работы релейной защиты, имитационное моделирование, стохастические модели, проверка гипотез, статистические алгоритмы.*

Обсуждаются возможности дополнительного применения статистической информации для повышения показателей технического совершенства релейной защиты на примере токовых защит. Предлагается алгоритм функционирования токовых защит с учетом статистических распределений максимальных рабочих токов и минимальных токов короткого замыкания. Приводятся результаты имитационного моделирования участка Нижегородской энергосистемы, обосновывающие преимущества применения статистического подхода и иллюстрирующие возможности по повышению чувствительности токовых защит.

A.L. KULIKOV, A.N. KLYUKIN

STATISTICAL METHODS IMPROVING THE EFFICIENCY OF RELAY PROTECTION IN GRIDS OF 110-750 kV

Key words: *relay protection, operating efficiency, probability of excessive operation of relay protection, imitating simulation, stochastic models, test of hypothesis, statistical algorithms.*

The opportunities of extra use of statistical information to increase the technical perfection rates of relay protection, based on current protection samples, are being discussed. It is suggested using the algorithm of current protection operating, adjusted for statistical distribution of overcurrent and short-circuit undercurrent. The results of service-simulating test of power system segment in Nizhny Novgorod are presented. They prove benefits of statistical approach and illustrate possibilities of increasing the response level of current protection.

Имитационное моделирование является наиболее мощным инструментом анализа и исследования электроэнергетических сетей и систем [5]. Оно позволяет проводить эксперименты с моделями, как с реальными объектами (системами), в условиях, когда этого сделать с данными объектами практически невозможно или нецелесообразно. В релейной защите и противоаварийной автоматике (РЗ и ПА) имитационное моделирование играет важную роль и входит, например, в состав основ информационной теории [3].

Известно употребление термина «имитационное моделирование» в более узком смысле, когда подразумеваются стохастические модели и эксперименты с ними с использованием метода статистических испытаний (метода Монте-Карло) [2, 4]. В этом случае входы модели и/или функциональные состояния между различными ее компонентами могут содержать, а могут не содержать элемент случайности, подчиняющийся вероятностным законам. При соблюдении условий адекватности модели, а также необходимого числа экспериментов (репрезентативность выборки) [1, 4] стохастические имитационные модели могут служить экспериментальной и прикладной методологии, имеющей целью: описание поведения электроэнергетических объектов и систем; построение гипотез и статистических алгоритмов, которые могут объяснить наблюдаемое поведение; использование гипотез и статистических алгоритмов для предсказания изменений в электроэнергетической системе или способах ее функционирования.

С этой стохастической стороны ресурс методов имитационного моделирования в интересах повышения эффективности релейной защиты и противоаварийной автоматики практически не рассматривался. Цель исследования – проиллюстрировать возможности статистического имитационного моделирования и алгоритмов релейной защиты, полученных по его результатам в устройствах РЗ и ПА.

На примере токовых защит и участка сети 110 кВ Нижегородской энергосистемы (рис. 1) продемонстрируем применение статистического подхода для повышения чувствительности токовых защит дальнего резервирования.

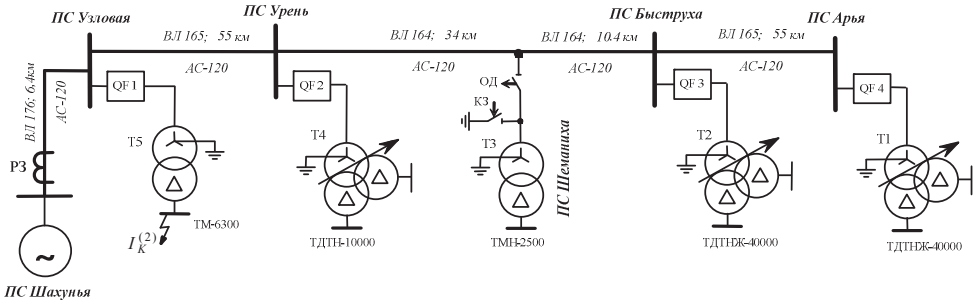


Рис. 1. Участок сети 110кВ Нижегородской энергосистемы

Стохастическая имитационная модель рассматриваемого участка сети 110 кВ реализовывалась в программном комплексе MatLab, а изменяемые параметры модели, а также диапазоны их изменений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменяемые параметры имитационной модели

Объект	Параметр	Диапазон изменения
Источник питания	Напряжение на шинах питающей ПС, кВ	104,5 – 115,5
	Частота тока, Гц	49,8 – 50,2
	Угол передачи, град.	30 – 70
	Активное сопротивление, Ом	0,65 – 0,95
	Индуктивность, мГн	6 – 8
ВЛ	Удельное активное сопротивление, Ом/км	0,19 – 0,26
	Удельная индуктивность, мГн/км	1,2 – 1,4
	Удельная емкость, нФ/км	8,8 – 9,2
Трансформатор	Активное сопротивление, Ом	14 – 16
	Индуктивность, Гн	0,35 – 0,39
	Активное сопротивление цепи намагничивания, МОм	1,1 – 1,4
	Индуктивность цепи намагничивания, Гн	720 – 760
Потребители	Нагрузка, МВА	20 – 30,5
	cos(φ)	0,75 – 0,95

По результатам стохастического имитационного моделирования целесообразно построить распределения вероятностей рабочих токов ($p_{раб}(I)$) и токов короткого замыкания ($p_{к.з.}(I)$), а вероятности излишнего срабатывания $P_{изл}$ и отказа от срабатывания $P_{отк}$ могут быть определены из этих распределений.

При произвольном (нормальном) распределении $p_{раб}(I)$, $p_{к.з.}(I)$ вероятности $P_{изл}$ и $P_{отк}$ составляют площади под кривыми соответствующих распределений относительно уставочного (порогового) значения $I_{ср}$ (рис. 2).

При построении статистического распределения $p_{раб}(I)$ выбирается такой рабочий режим электрической сети (нагрузки, генерации, условия функционирования ЛЭП и др.), при котором обеспечивается максимальный рабочий ток $I_{раб.\ макс}$. Напротив, при построении статистического распределения $p_{к.з.}(I)$ выбираются такой рабочий режим электрической сети (нагрузки, генерации, условия функционирования ЛЭП и др.), а также условия возникновения короткого замыкания, при которых обеспечивается минимальное значение $I_{к.з.\ мин}$. В таких условиях использование нормальных распределений $p_{раб}(I)$ и $p_{к.з.}(I)$ оправдано, поскольку для токовых защит эти распределения отражают «наиболее тяжелый нагрузочный режим» и «наименее распознаваемый режим короткого замыкания».

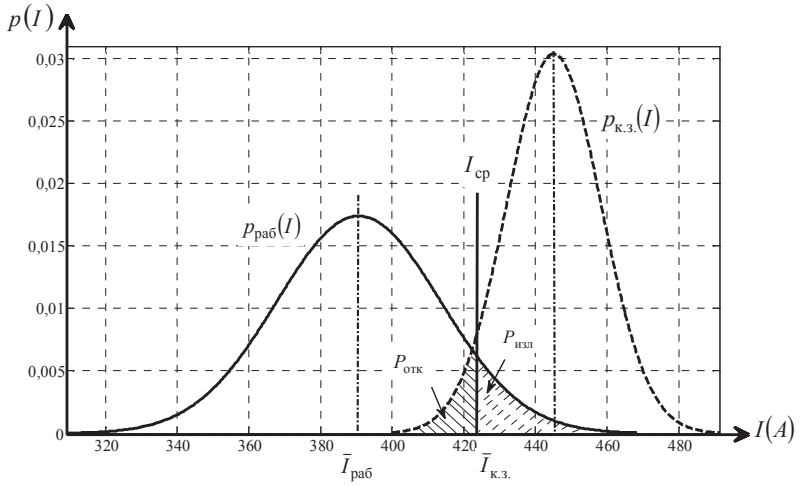


Рис. 2. Распределение амплитуды токов максимального рабочего (—) и аварийного (– –) режимов ВЛ 176

Следует отметить, что вероятности $P_{изл}$ и $P_{отк}$ связаны с другими основными часто используемыми показателями эффективности РЗ, такими, как чувствительность и селективность. Проиллюстрируем эту связь на примере (рис. 2). Так, если уставочное значение $I_{ср}$ переместить вправо по оси тока (I), то уменьшится вероятность $P_{изл}$ излишнего срабатывания, а следовательно, повысится селективность (поскольку станет меньше ситуаций, когда защита работает излишне). Но при этом за счет увеличения уставки $I_{ср}$ (рис. 2) увеличится вероятность $P_{отк}$ отказа от срабатывания токовой защиты, а следовательно, возрастет число ситуаций, когда защите необходимо будет срабатывать, а она будет нечувствительна к токам короткого замыкания (уменьшится чувствительность).

Для разработки алгоритма функционирования цифровой токовой релейной защиты с использованием стохастической информации имитационного моделирования воспользуемся теорией проверки статистических гипотез [1, 2]. Рассматривается гипотеза короткого замыкания на фоне альтернативной гипотезы рабочего режима, принимаемая по результатам измерения амплитуды тока. Применительно к широко используемому в различных технических решениях байесовскому подходу задача построения нового способа токовой защиты сводится к критерию отношения правдоподобия, сводящего к сравнению с пороговым значением (уставкой) отношения плотностей вероятностей

$$\Lambda(I) = \frac{p_{к.з.}(I)}{p_{раб}(I)} \geq \Lambda_0,$$

где Λ_0 – пороговое (уставочное) значение.

При нормальном законе распределения вероятности в рабочем и аварийном режиме получим

$$p_{раб}(I) = (2\pi\sigma^2_{раб})^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{(I-\bar{I}_{раб})^2}{2\sigma^2_{раб}}\right\},$$

$$p_{к.з.}(I) = (2\pi\sigma^2_{к.з.})^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{(I-\bar{I}_{к.з.})^2}{2\sigma^2_{к.з.}}\right\},$$

где $\bar{I}_{раб}, \sigma^2_{раб}$ и $\bar{I}_{к.з.}, \sigma^2_{к.з.}$ – математические ожидания и дисперсии токов в рабочем и аварийном режимах, соответственно.

Отношение правдоподобия будет выглядеть следующим образом:

$$\Lambda(I)=\frac{\sigma_{\text{раб.}}}{\sigma_{\text{к.з.}}}\exp\left\{\frac{(I-\bar{I}_{\text{раб}})^2}{2\sigma^2_{\text{раб}}}-\frac{(I-\bar{I}_{\text{к.з.}})^2}{2\sigma^2_{\text{к.з.}}}\right\}=\frac{\sigma_{\text{раб.}}}{\sigma_{\text{к.з.}}}\cdot\exp\left\{\frac{\sigma^2_{\text{к.з.}}-\sigma^2_{\text{раб.}}}{2\sigma^2_{\text{раб.}}\sigma^2_{\text{к.з.}}}I^2+\right.$$

$$\left.+\frac{2I\cdot(\bar{I}_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб.}}-\bar{I}_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}})-\bar{I}^2_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб.}}+\bar{I}^2_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}}}{2\sigma^2_{\text{раб.}}\sigma^2_{\text{к.з.}}}\right\}.$$

Так как экспоненциальная функция является монотонной, то решение может основываться не на отношении правдоподобий, а на логарифме этой функции. После логарифмирования и группировки получаем новый самостоятельный критерий токовой защиты, заключающийся в сравнении значений величины

$$l(I)=I^2\frac{\sigma^2_{\text{к.з.}}-\sigma^2_{\text{раб.}}}{2\sigma^2_{\text{раб.}}\sigma^2_{\text{к.з.}}}+I\frac{(\bar{I}_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб.}}+\bar{I}_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}})}{\sigma^2_{\text{раб.}}\sigma^2_{\text{к.з.}}}$$

с пороговым значением

$$l_0=(\ln\Lambda_0-\ln\sigma_{\text{раб}}+\ln\sigma_{\text{к.з.}})-\frac{\bar{I}^2_{\text{раб}}}{2\sigma^2_{\text{раб.}}}+\frac{\bar{I}^2_{\text{к.з.}}}{2\sigma^2_{\text{к.з.}}}.$$

После умножения $l(I)$ и l_0 на $2\sigma^2_{\text{раб.}}\sigma^2_{\text{к.з.}}$ переходим к модифицированному алгоритму, обладающему большей простотой технической реализации,

$$l'(I)=I^2(\sigma^2_{\text{к.з.}}-\sigma^2_{\text{раб.}})+2I(\bar{I}_{к.з.}\cdot\sigma^2_{\text{раб.}}+\bar{I}_{\text{раб}}\cdot\sigma^2_{\text{к.з.}}).$$

Следует заметить, что пороговое (уставочное) значение l'_0 не зависит от текущих значений тока и может быть рассчитано единожды по результатам моделирования.

Для технической реализации токовой защиты целесообразно выбрать наиболее простые расчетные выражения, связанные с вычислением значений $l'(I)$ и l_0. При этом вариант структурной схемы устройства цифровой токовой релейной защиты на основе обработки статистической информации может быть выполнен, как показано на рис. 3.

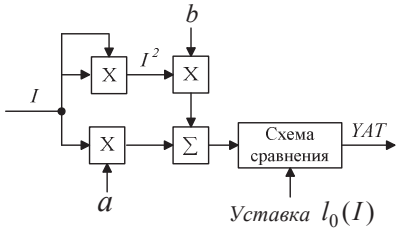


Рис. 3. Устройство цифровой токовой защиты

Предполагается, что на вход устройства (рис. 3) поступают цифровые значения модуля тока (мгновенной амплитуды). Таким образом, перед подачей на вход устройства над током производились [5] аналоговая фильтрация низких частот, аналого-цифровое преобразование, цифровая фильтрация отсчетов тока (например, по алгоритму дискретного преобразования Фурье), цифровое детектирование (вычисление абсолютного значения).

Для обеспечения функционирования устройства (рис. 3) предварительно по полученным в результате статистического моделирования значениям $\bar{I}_{\text{раб}}, \sigma^2_{\text{раб}}, \bar{I}_{\text{к.з.}}, \sigma^2_{\text{к.з.}}$ производится расчет постоянных коэффициентов

$$a=2(\bar{I}_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб}}+\bar{I}_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}}),\quad b=(\sigma^2_{\text{к.з.}}-\sigma^2_{\text{раб}}),$$

а также выбор уставочного значения

$$l'_0=2\sigma^2_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}}(\ln\Lambda_0-\ln\sigma_{\text{раб}}+\ln\sigma_{\text{к.з.}})-\bar{I}^2_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}}+\bar{I}^2_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб}}.$$

Возможен и более простой (не расчетный) путь выбора уставочного (порогового) значения, базирующийся, например, на применении критерия Неймана–Пирсона. При этом задают некоторое значение одного из показателей эффективности функ-

ционирования релейной защиты, например, нулевое значение вероятности излишнего срабатывания $P_{\text{изл}}$ или согласно ПУЭ – минимальный коэффициент чувствительности не менее 1,5 (для резервной зоны – 1,2), исходя из статистических распределений (рис. 2), с определением значения тока $I_{\text{ср}}$.

После подстановки $I_{\text{ср}}$ в выражение для $l'(I)$ с учетом $l'(I_{\text{ср}}) = l'_0$ имеем

$$l'_0 = l'(I_{\text{ср}}) = I^2_{\text{ср}}(\sigma^2_{\text{к.з.}} - \sigma^2_{\text{раб}}) + 2I_{\text{ср}}(\bar{I}_{\text{к.з.}}\sigma^2_{\text{раб}} + \bar{I}_{\text{раб}}\sigma^2_{\text{к.з.}}).$$

Таким образом, на основе статистических распределений получено упрощенное правило вычисления уставочного значения.

После расчета требуемых для функционирования величин *a, b* и l'_0 устройство цифровой токовой защиты (рис. 3) готово к работе. При поступлении на вход дискретных значений модуля тока *I* реализуется взвешенное суммирование для формирования

$$l'(I) = a \cdot I + b \cdot I^2.$$

В последующем значение $l'(I)$ сравнивается с уставкой (порогом) l'_0 для принятия решения о наличии короткого замыкания на объекте.

При $l'(I) \geq l'_0$ защита срабатывает, в противном случае $l'(I) < l'_0$ срабатывание защиты не происходит.

Для оценки эффективности применения статистических алгоритмов в цифровой токовой защите дальнего резервирования производилось имитационное моделирование участка электрической сети (рис. 1). Результаты моделирования при изменении параметров сети согласно табл. 1 приведены в табл. 2 и свидетельствуют о существенном повышении чувствительности. По отдельным видам коротких замыканий чувствительность токовых защит дальнего резервирования возрастает до десяти и более раз без ухудшения других показателей эффективности. Такое явление обусловлено более полным использованием информации, характеризующей защищаемый участок сети и его режимы, в статистических распределениях токов рабочего и аварийного режимов и процедурах (алгоритмах) принятия решений (срабатывания) релейной защиты.

Таблица 2

Численные значения результатов моделирования

Зона резервирования	Объект резервирования	Чувствительность РЗ	
		детерминированный метод	статистический метод
1	T5	–	+
2	T4	–	+
3	T3	–	+
	T2	–	+
4	T1	–	+

Распространение статистического принципа на случай векторного замера (многомерной релейной защиты [2]) и гаусовских (нормальных) распределений приводит к алгоритму, когда с уставкой (порогом) сравнивается скалярная величина вида

$$\ln l = \frac{1}{2}(\vec{y}^T \cdot (\underline{\varphi}^{-1}_{\text{р}} - \underline{\varphi}^{-1}_{\text{ав}}) \cdot \vec{y} + \vec{y}^T \cdot (\underline{\varphi}^{-1}_{\text{ав}} \cdot \vec{x}_{\text{ав}} - \underline{\varphi}^{-1}_{\text{р}} \cdot \vec{x}_{\text{р}}) + (\vec{x}^T_{\text{ав}} \cdot \underline{\varphi}^{-1}_{\text{ав}} - \vec{x}^T_{\text{р}} \cdot \underline{\varphi}^{-1}_{\text{р}}) \cdot \vec{y} +$$
$$+ (\vec{x}^T_{\text{р}} \cdot \underline{\varphi}^{-1}_{\text{р}} \cdot \vec{x}_{\text{р}} - \vec{x}^T_{\text{ав}} \cdot \underline{\varphi}^{-1}_{\text{ав}} \cdot \vec{x}_{\text{ав}})) + \ln\left(\sqrt{|\underline{\varphi}_{\text{р}}| / |\underline{\varphi}_{\text{ав}}|}\right), \quad (1)$$

где $\vec{y}$ – вектор-столбец измеряемых параметров; $\underline{\varphi}_{\text{р}}$ и $\underline{\varphi}_{\text{ав}}$ – корреляционные матрицы параметров рабочего и аварийного режимов; $\vec{x}_{\text{р}}$ и $\vec{x}_{\text{ав}}$ – вектор-столбцы математических ожиданий параметров рабочего и аварийного режимов.

Следует отметить, что выбор уставочных значений целесообразно реализовать по ранее рассмотренному критерию Неймана–Пирсона. Основу такого выбора будут составлять распределения статистик для рабочего и аварийного режимов, полученные по результатам имитационного моделирования.

Перспективность применения статистических алгоритмов обработки при реализации цифровой релейной защиты иллюстрируют рис. 4-6. Рассматривается токовая защита, условия работы которой характеризуются распределениями параметров тока: амплитудой I (рис. 4) и фазой φ (рис. 5) для граничных условий рабочего (максимального) и аварийного (минимального) режимов. Анализ рис. 4 и рис. 5 показывает, что области возможных значений амплитуды и фазы тока в этих режимах (рис. 6) накладываются друг на друга. Это обстоятельство не позволяет распознать возможный факт короткого замыкания. Однако распределение статистики $\ln l$ (по выражению 1) в этих режимах свидетельствует об однозначном разделении режимов и возможности построения токовой защиты путем сравнения $\ln l$ с уставкой. В качестве уставочного значения для этого случая может быть выбрано значение $\ln l = 0$, а процедура сравнения сводиться к определению знака статистики $\ln l$.

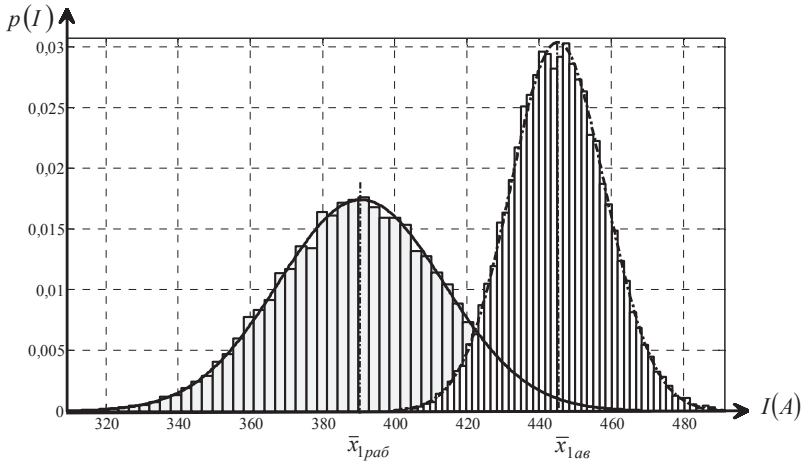


Рис. 4. Распределение амплитуды рабочих (–) и аварийных (--) токов

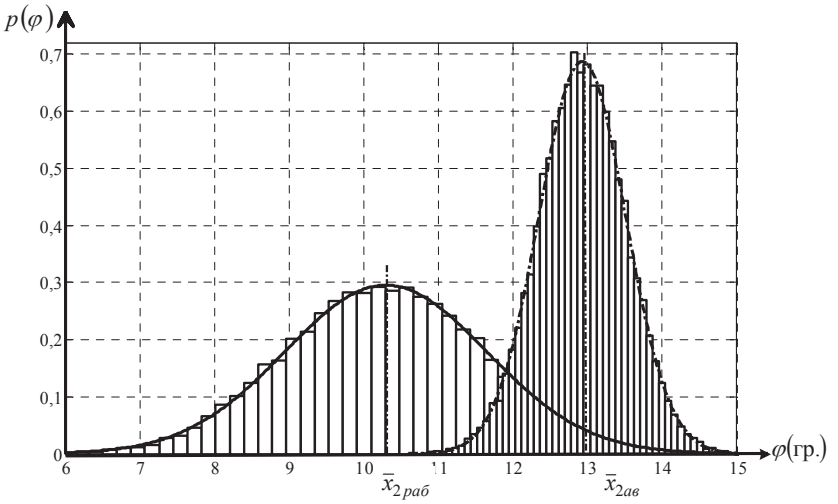


Рис. 5. Распределение фазы рабочих (–) и аварийных (--) токов

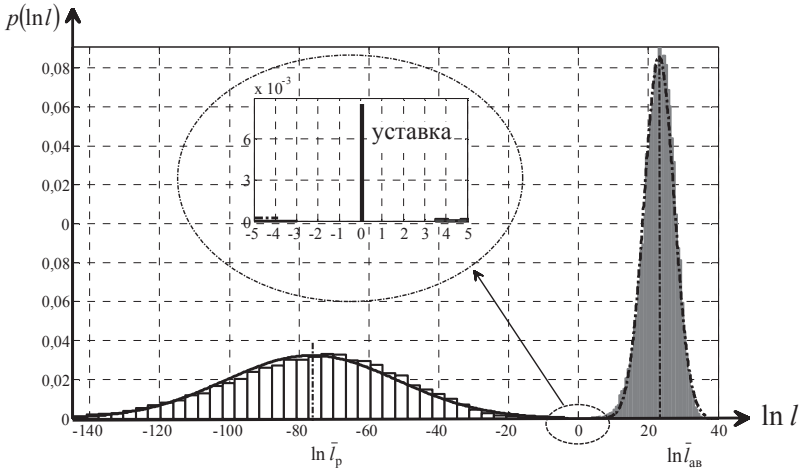


Рис. 6. Распределение статистики ln *l*
для рабочих (–) и аварийных (--) режимов

В предположении одинаковости коэффициента корреляции ρ параметров тока рабочего и аварийного режимов, входящих в состав векторов $\vec{x}$ и $\vec{y}$ (выражение 2), структурная схема устройства цифровой РЗ приведена на рис. 7, а вычислительный алгоритм основывается на расчете статистики:

$$\gamma = \frac{1}{1-\rho^2}\left\{ y_1^2\left(\frac{1}{\sigma_{1р}^2}-\frac{1}{\sigma_{1ав}^2}\right)+y_2^2\left(\frac{1}{\sigma_{2р}^2}-\frac{1}{\sigma_{2ав}^2}\right)-2y_1y_2\left(\frac{1}{\sigma_{1р}\sigma_{2р}}+\frac{1}{\sigma_{1ав}\sigma_{2ав}}\right)+\right.$$
$$\left.+\left(\frac{y_1x_{1ав}}{\sigma_{1ав}^2}-\frac{y_1x_{1р}}{\sigma_{1р}^2}+\frac{y_2x_{2ав}}{\sigma_{2ав}^2}-\frac{y_2x_{2р}}{\sigma_{2р}^2}+\rho\cdot\left(\frac{y_1x_{2р}}{\sigma_{1р}\sigma_{2р}}+\frac{y_2x_{1р}}{\sigma_{1р}\sigma_{2р}}-\frac{y_1x_{2ав}}{\sigma_{1ав}\sigma_{2ав}}-\frac{y_2x_{1ав}}{\sigma_{1ав}\sigma_{2ав}}\right)\right)\right\}, \quad (2)$$

где y_1, y_2 – измеряемые параметры тока (амплитуда и фаза); $\sigma_{1р}$, $\sigma_{1ав}$, $\sigma_{2р}$, $\sigma_{2ав}$ – дисперсии параметров тока в рабочем и аварийном режимах; $x_{1р}$, $x_{1ав}$, $x_{2р}$, $x_{2ав}$ – математические ожидания параметров тока (амплитуды и фазы) в рабочем и аварийном режимах (например, рис. 4-6).

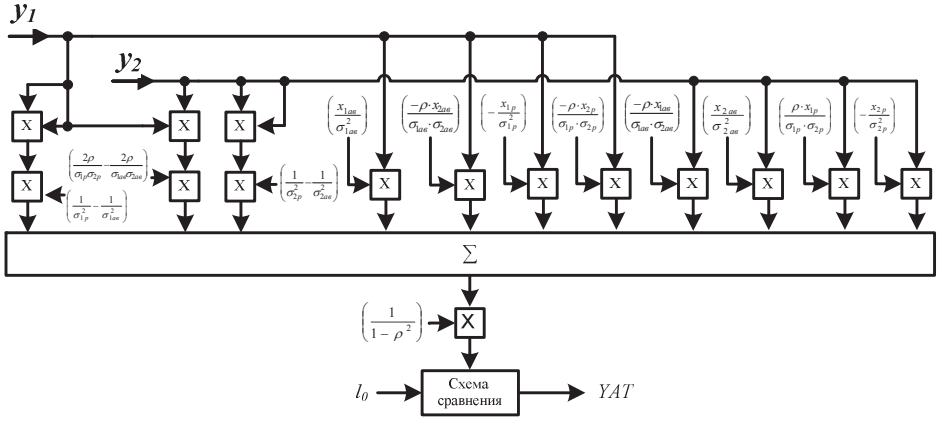


Рис. 7. Структурная схема устройства цифровой РЗ
для двух контролируемых величин

Важно, что, несмотря на усложненное алгоритмическое и аппаратурное исполнение (рис. 7), предлагаемая цифровая токовая защита реализует физически обоснованные и понятные операции обработки:

– накопление информации, заключенной в параметрах тока, посредством суммирования нормированных значений различий этих параметров в аварийном и рабочем режимах;

– межэлементное нормирование параметров по уровню в соответствии с дисперсиями (среднеквадратическими отклонениями); с меньшим весом учитывается элемент выборки, обладающий большей дисперсией, и, соответственно, параметр, имеющий меньшую точность оценки;

– компенсацию коррелированных частей оцениваемых параметров тока (исключение избыточной информации), что в совокупности с нормировкой обеспечивает составление параметров разной интенсивности.

Выводы. Использование статистической информации в сочетании со стохастическими алгоритмами принятия решений обеспечивает высокую чувствительность релейной защиты в условиях изменяющихся параметров электрической сети и динамических режимах.

Разработанный алгоритм цифровой релейной защиты может быть внедрен в существующие терминалы микропроцессорных защит, не требует их существенных конструктивных изменений и дополнительных финансовых затрат. Предложенный принцип использования имитационного моделирования и статистической информации может быть распространен на различные виды защит с целью повышения их эффективности.

Литература

1. *Крамер Г.* Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.

2. *Леман Э.* Проверка статистических гипотез. М.: Наука, 1979. 408 с.

3. *Лямец Ю.Я., Ефимов Е.Б., Нудельман Г.С., Законьшек Я.* Принцип информационного совершенства релейной защиты // Электротехника. 2001. № 2. С. 30-34.

4. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 421 с.

5. *Шнеерсон Э.М.* Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.

КУЛИКОВ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетики и электроснабжения, Нижегородский государственный технический университет, Россия, Нижний Новгород (kulikov@npmes.elektra.ru).

KULIKOV ALEXANDER LEONIDOVICH – doctor of technical sciences, professor of Power Industry and Electric Supply Chair, Nizhniy Novgorod State Technical University, Russia, Nizhniy Novgorod.

КЛЮКИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – аспирант кафедры электроэнергетики и электроснабжения, Нижегородский государственный технический университет, Россия, Нижний Новгород (a.n.klyukin@ya.ru).

KLYUKIN ALEXANDER NIKOLAEVICH – post-graduate student of Power Industry and Electric Supply Chair, Nizhniy Novgorod State Technical University, Russia, Nizhniy Novgorod.

УДК [535.33:621.373.826]:546.11
ББК З 234.2в672

Г.М. МИХЕЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПРИСАДКИ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОКОНВЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: *диэлектрическая жидкость, антиокислительная присадка, коэффициент пропускания, длина волны.*

Предложено устройство для электроконвективной очистки диэлектрической жидкости. Показано, что после очистки трансформаторного масла по спектру оптического пропускания в нём легко можно обнаружить антиокислительную присадку.

G.M. MIKHEEV

IDENTIFICATION OF ANTIPXIDIZE ADDITIVE AFTER ELECTROCONVECTIVE CLEANING OF DIELECTRIC LIQUID

Key words: *dielectric liquid, antioxidize additive, transmission factor, wavlength.*

A device for electroconvective cleaning of dielectric liquid is proposed. It is shown that after cleaning of transformer oil the antioxidize additive can be easily identified by optical transmission spectrum.

Отработанное трансформаторное масло, которое долгое время эксплуатируется в таких высоковольтных аппаратах, как высоковольтные выключатели или регуляторы напряжения под нагрузкой силовых трансформаторов, имеет сильное загрязнение. На вид такое масло очень тёмное, в нём присутствуют в основном механические углеродсодержащие примеси. Очистка такой жидкости известными способами сильно затруднена тем, что фильтры быстро засоряются. Поэтому на предприятиях энергосистем такое масло, как правило, отправляют на асфальтобетонные заводы для применения в других целях. Однако подобное нецелевое использование дорогостоящего продукта не всегда оправдано.

В настоящее время для регенерации отработанных жидких диэлектриков используются адсорбционные, вакуумные, мембранные, кислотные, щелочные и другие методы [3]. На промышленных предприятиях наиболее широкое распространение получили перколяционные и контактные методы регенерации. Они основаны на использовании различных природных и синтетических сорбентов [6]. Известны также способы очистки с применением электрокинетических явлений, при которых жидкий диэлектрик многократно прогоняется через систему электродов, находящихся под электрическим напряжением [3, 5]. Однако все эти перечисленные методы очистки являются довольно сложными. Они требуют значительных материальных и энергетических ресурсов при своей практической реализации.

Нами была изготовлена установка для очистки диэлектрической жидкости (рис. 1). Заземленный металлический сосуд цилиндрической формы 1 (∅ 57 см×84 см, вместимость сосуда составляла 0,2 м^3) был заполнен отработанным трансформаторным маслом, взятым из бака устройства РПН высоковольтного трансформатора.

Внутри металлического сосуда с помощью изоляторов 2 и 3 был закреплен металлический электрод 4, выполненный в виде спирали. На электрод от трансформатора 5, подключенного к источнику переменного напряжения промышленной частоты, подавалось высоковольтное напряжение с частотой 50 Гц. Напряжение между электродом и поверхностью металлического сосуда, служащим вторым электродом, составляло 12 кВ. В этом случае переменный ток, проходящий через высоковольтную обмотку трансформатора, составлял 8-10 мА, так что электрическая мощность, потребляемая установкой, была менее 120 Вт.

Представленная геометрия расположения электродов обеспечивает в объеме трансформаторного масла весьма неоднородное электрическое поле. Действительно, произ-

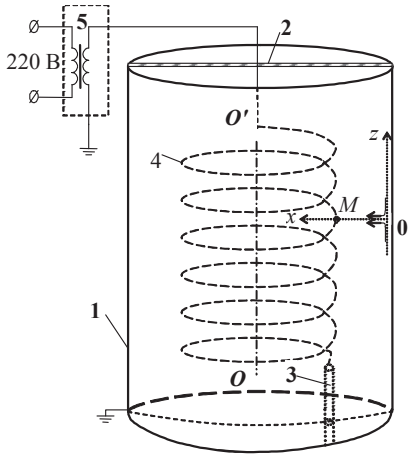


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для очистки диэлектрической жидкости: 1 – цилиндрический сосуд, выполняющий роль первого электрода; 2, 3 – изоляторы; 4 – второй электрод, выполненный в виде винтовой спирали; 5 – высоковольтный трансформатор

вольная диаметральная плоскость, проходящая через ось OO' (см. рис. 1), пересекает спираль в $2n$ точках, где n – количество витков спирали. Выберем одну из этих точек, например, точку M и через эту точку проведем ось x, перпендикулярную линии OO'. На оси x отметим произвольную точку, лежащую внутри цилиндрического сосуда вблизи её стенок, и выберем эту точку за начало локальной прямоугольной системы координат, вторая ось z, которой параллельна линии OO'.

Можно показать (это также следует из симметрии задачи), что зависимость E^2 от z в точке $z = 0$ имеет локальный максимум, а зависимость grad E^2 от z в точке $z = 0$ меняет свой знак. При этом с увеличением x величина E^2 возрастает. Таким образом, пондеромоторные силы, действующие в окрестности точки начала системы координат $z0x$, имеют распределение, вызывающее турбулентное движение жидкости, как показано на рис. 1, в виде соответствующих стрелок. Взаимодействие турбулентных потоков жидкости со стенками сосуда может способствовать эффективному выделению и оседанию инородных частиц на её поверхности. Очевидно, что для нашей схемы эксперимента взаимодействие неоднородного электрического поля с жидким диэлектриком имеет более сложную картину. Однако представленное рассмотрение позволяет понять принцип электроконвективной очистки жидкого диэлектрика в неоднородном электрическом поле.

Эксперименты показали, что при подаче высокого напряжения в жидкости, находящейся в металлическом сосуде, возникают вихревые потоки. На начальном этапе осаждение углеродсодержащих частиц примеси происходит на поверхности цилиндрического сосуда в зонах напротив витков винтовой спирали металлического электрода. При этом образующийся на поверхности сосуда углеродный след имеет вид спирали. Затем, с течением времени, вся внутренняя поверхность цилиндра покрывается слоем углеродного материала. Накопление углеродных частиц также происходит на витках металлического электрода, а влага, находящаяся в масле, выделяется на дне сосуда. Таким образом, происходит постепенное очищение трансформаторного масла от инородных частиц.

Кроме визуального наблюдения о степени очистки трансформаторного масла можно судить по измерениям спектра оптического пропускания, газового содержания, влагосодержания, пробивного напряжения ($U_{пр}$) и тангенса угла диэлектрических потерь (tgδ). В наших экспериментах спектр оптического пропускания проб трансформаторного масла исследовался на спектрофотометре СФ-26 с помощью оптических стеклянных кювет толщиной 5 мм. Содержание газов в трансформаторном масле определялось с помощью газового хроматографа «Кристалл» по стандартной методике. Содержание влаги в трансформаторном масле определялось прибором типа ПВН, принцип работы которого основан на гидрид-кальциевом методе [2]. Пробивное напряжение и тангенс угла диэлектрических потерь определялись по стандартным методикам, описанным в [1].

На рис. 2 представлены спектры оптического пропускания проб трансформаторного масла до очистки (кривая 1), после очистки в течение 8 часов (кривая 2), после повторной

очистки в течение 8 ч (кривая 3) и свежей пробы трансформаторного масла марки Т-1500 (ГОСТ 9832-80) (кривая 4).

Примечательно, что для отработанного масла (кривая 1) в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм коэффициент оптического пропускания τ с увеличением длины волны λ монотонно возрастает. Данное свойство является характерным и для углеродсодержащих водных суспензий [4].

Из рис. 2 наглядно видно, что процесс электроконвективной очистки приводит к существенному увеличению коэффициента пропускания трансформаторного масла в широком диапазоне длин волн λ. Анализ проведённых измерений на длине волны 1064 нм показал, что показатели экстинции проб масел, соответствующим кривым 1 и 3, отличаются в 8,6 раза. Следует отметить, что во всем диапазоне λ прозрачность свежего масла марки Т-1500 превосходит прозрачность отработанного масла даже после двухступенчатой очистки (см. рис. 2, кривые 3 и 4).

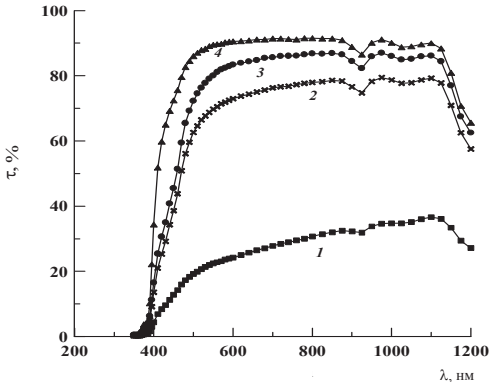


Рис. 2. Зависимости коэффициента оптического пропускания τ трансформаторного масла, помещенного в стеклянную кювету толщиной 5 мм, от длины волны λ света: до очистки (1), после процесса очистки в течение 8 ч (2), после вторичной очистки (3) и со свежим маслом марки Т-1500 (4)

Особенность результатов данного эксперимента заключается в том, что на всех кривых (рис. 2, кривые 2-4) на длине волны, близкой к 960 нм, наблюдается некоторый провал коэффициента оптического пропускания, в то время как для неочищенного масла такой провал практически отсутствует. Дальнейшие исследования показали, что это соответствует длине волны антиокислительной присадки ионола. Таким образом, по спектру оптического пропускания проб дополнительно можно судить об отсутствии или наличии антиокислительной присадки в диэлектрической жидкости после его очистки.

Литература

1. ГОСТ 6581-75 (СТ СЭВ 3166-81). Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 15 с.

2. ГОСТ 7822-75. Масла нефтяные: Метод определения растворенной воды. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

3. *Липштейн Р.А., Шахнович М.И.* Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 294 с.

4. *Монастырский А.Е.* Регенерация, сушка и дегазация трансформаторного масла. СПб.: Изд-во ПЭИПК, 2002. 41 с.

5. Пат. РФ № 2015160, МПК 5С 10 М175/02. Способ очистки отработанного моторного масла от суспензированных механических примесей и воды / Ахметкалиев Р.Б.; заявитель и патентообладатель автор, заявл. 04.07.2006; опубл. 20.06.1994. Бюл. № 30. 5 с.

6. РД 34.43.105-89. Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел. М.: СПО ОРГРЭС, 1995. 86 с.

МИХЕЕВ ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (mikheevg@rambler.ru).

MIKHEEV GEORGIY MIKHAYLOVICH – doctor of technical sciences, professor of Electric Power Industry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК [535.33:621.373.826]:546.11
ББК З 234.2в672

Г.М. МИХЕЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Ключевые слова: *диэлектрическая жидкость, водород, метод спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС), импульсный пробой.*

Методом спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света исследовано выделение водорода из диэлектрической жидкости. Показано, что после электрического пробоя масла концентрация водорода в газовой смеси над жидкостью скачком возрастает до некоторого значения, зависящего от энергии разряда. Общий объем образующегося водорода пропорционален корню квадратному из энергии импульсного электрического разряда.

G.M. MIKHEEV

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYDROGEN EXTRACTION FROM DIELECTRIC LIQUID BY LASER SPECTROSCOPY

Key words: *dielectric liquid, hydrogen, method of spectroscopy of biharmonic-pumping coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS), impulse discharge.*

The hydrogen extraction from dielectric liquid by the method of spectroscopy of biharmonic-pumping coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) is analyzed. It is shown that after electrical breakdown the hydrogen concentration in the gas mixture over the liquid increases very rapidly up to a certain value that depending on discharge energy. The total volume of extracted hydrogen is proportional to the square root of impulse electric charge energy.

Актуальность экспресс-контроля газов в диэлектрических жидкостях. Известно, что в высоковольтном маслонаполненном оборудовании газы могут генерироваться в результате разложения масла при частичных разрядах, термическом нагреве, мощном ультразвуковом воздействии [1]. Причем одним из самых первых газов, который образуется в результате разложения масла, является водород.

Обычно определение содержания газов в трансформаторных маслах сводится к анализу газовой фазы над пробой исследуемой жидкости [2]. В этом случае извлечение газов из жидкой фазы в газовую осуществляется посредством обычного перемешивания пробы масла в течение некоторого времени в атмосфере чистого инертного газа, а также в условиях вакуума. В результате этого часть растворённых в жидкости газов переходит в газообразное состояние. Распределение компонент газа, например водорода, в газовой и жидкой фазах характеризуется коэффициентом распределения K [2], зависящим от температуры. Обычное перемешивание и применение вакуума не оказывает влияния на коэффициент распределения. Такая процедура лишь ускоряет процесс перехода газа из жидкой фазы в газовую. То есть уменьшает время установления термодинамического равновесия.

Анализ состава выделенной из жидкости газовой смеси осуществляется хроматографическим методом. В этом случае разделение водорода от других газов производится с помощью хроматографической колонки в потоке инертного газа. Но детектирование водорода не обеспечивает экспрессности анализа, так как требуется некоторое время для прохождения газовой смеси через хроматографическую колонку. Поэтому указанный метод не позволяет, например, наблюдать кинетику выделения водорода из диэлектрической жидкости в реальном масштабе времени при нагреве или после импульсного электрического пробоя. В связи с этим представляют определенный интерес развитие и демонстрация применения другого альтернативного метода, позволяющего с высокой чувствительностью проводить экспресс-анализ содержания водорода в диэлектрических жидкостях. Таким методом является нелиней-

ная лазерная спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света. Она, в частности, применяется для анализа водорода в металлах и сплавах [3].

Как известно, при всех возможных дефектах в электрооборудовании (термический нагрев, частичные разряды, дуговые разряды, разложение твердой изоляции и т.д.) основным газом в трансформаторном масле является водород [4]. Поэтому необходимо знание о концентрации этого газа в диэлектрической жидкости.

Исследование выделения водорода из трансформаторного масла типа ГК после импульсного электрического пробоя

а) *Схема эксперимента*

На рис. 1 представлена упрощенная схема установки, позволяющая исследовать выделение водорода из трансформаторного масла методом КАРС после одиночного импульсного электрического пробоя.

Здесь в качестве блока 1 служит одномодовый YAG: Nd^{+3}-лазер с пассивной модуляцией добротности с удвоителем частоты на кристалле KTP, работающий в частотном режиме [5]. Длина волны излучения составляет 532 нм, длительность импульса около 7 нс при энергии в импульсе 25-40 мДж. Монохроматическое излучение на длине волны $\lambda_L = 532$ нм подается в генератор бигармонической накачки (ГБН) 2, который состоит из кюветы со сжатым водородом при давлении 2,5 атм, фокусирующей и коллимирующей линз, а также из набора необходимых оптических фильтров (на рис. 1 не показаны).

В кювете ГБН в результате вынужденного комбинационного рассеяния света [6] часть излучения с $\lambda_L = 532$ нм преобразуется в стоксову волну с $\lambda_S = 683$ нм так, что соответствующие им частоты удовлетворяют условию резонанса:

$$\omega_L - \omega_S \approx \Omega,$$

где Ω – частота комбинационно-активного перехода $Q_{01}(1)$ молекулярного водорода между колебательными состояниями $V = 0$ и $V = 1$, имеющими вращательное квантовое число $J = 1$.

Далее бигармоническая накачка ($\lambda_L = 532$ нм, $\lambda_S = 683$ нм) с помощью линзы 3 фокусируется в оптическую измерительную кювету 4. Здесь в результате четырехфотонных процессов возникает антистоксова волна ($\lambda_A = 436$ нм), интенсивность которой позволяет судить о концентрации водорода в измерительной кювете 4. После коллимирования пучка линзой 5 и предварительной частотной селекции фильтром 6 излучение $\lambda_A = 436$ нм направляется на монохроматор 7 и измеряется специальной системой регистрации и микро-ЭВМ 8. При этом измерения осуществляются с некоторой частотой повторения импульсов, с возможностью автоматического усреднения без изменения масштаба и последующим запоминанием полученных результатов.

Конструктивно камера 12 для трансформаторного масла 13 выпол-

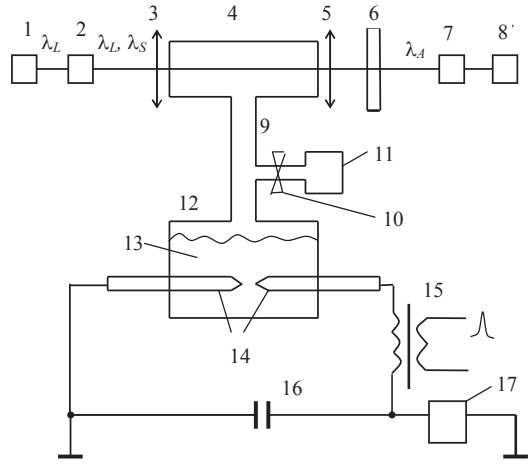


Рис. 1. Схема эксперимента:
1 – одномодовый лазер;
2 – генератор бигармонической накачки;
3, 5 – линзы; 4 – измерительная кювета;
6 – фильтр; 7 – монохроматор; 8 – микро-ЭВМ;
9 – вакуумный трубопровод; 10 – зажим;
11 – вакуумный насос; 12 – камера;
13 – испытуемая жидкость; 14 – электроды;
15 – высоковольтный трансформатор;
16 – накопительный конденсатор;
17 – выпрямительный блок

нена из кварцевой трубки и содержит медные заостренные электроды 14, расположенные друг против друга. Один из электродов заземлен, на другой через вторичную обмотку импульсного поджигающего трансформатора 15 подано высокое напряжение выпрямительным блоком 17. Вакуумный трубопровод 9 и форвакуумный насос 11 обеспечивают откачку воздуха из измерительной кюветы и камеры 12 для трансформаторного масла. Зажим 10 позволяет отключить действие вакуумного насоса во время измерений.

Эксперименты проводились в такой последовательности. После откачки воздуха из оптической измерительной кюветы и камеры для трансформаторного масла до давления менее 10^3 Па вакуумный насос отсоединялся от системы с помощью зажима 10. В этом случае сигнал КАРС полностью отсутствует. Далее производилась калибровка измеряемого сигнала для определения абсолютного значения объема водорода (приведенного к нормальным условиям), выделяющегося после импульсного пробоя масла. Данная процедура осуществлялась введением известных объемов водорода с помощью хроматографических шприцев в вакуумное пространство над трансформаторным маслом, свободным от растворенного в нем водорода. Минимальный объем водорода, который можно было зарегистрировать, составлял 10^{-6} см^3.

В момент времени $t = 0$ на первичную обмотку трансформатора поджига подается одиночный короткий импульс. В результате на медных электродах возникает кратковременное высокое напряжение, пробивающее межэлектродный промежуток. Вслед за этим накопительный конденсатор 16 разряжается на землю через вторичную обмотку трансформатора 15 и межэлектродный промежуток. В результате возникает яркое свечение, сопровождающееся существенным возмущением жидкости и выделением газовых пузырей.

б) *Выделение водорода при разложении трансформаторного масла*

Эксперименты показали, что после импульсного газового разряда, возникающего в трансформаторном масле, сигнал КАРС в измерительной кювете скачком возрастает. Это свидетельствует об образовании порции водорода V (t=0), оказывающейся немедленно в оптической измерительной камере (рис. 2). В дальнейшем наблюдается плавное увеличение объема водорода в измерительной кювете (рис. 2, кривая 1). Это может быть связано с началом процесса перехода растворившегося в масле водорода в газовую фазу.

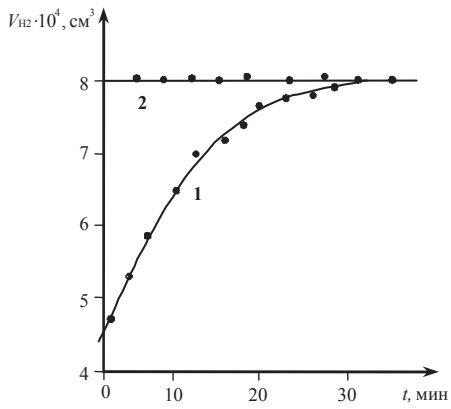


Рис. 2. Кинетика выделения водорода из камеры с трансформаторным маслом марки ГК в оптическую измерительную кювету после импульсного электрического разряда с энергией равной 16,9 Дж при попадании (1) и непопадании (2) капель масла на внутренние стенки вакуумного трубопровода, соединяющую камеру с измерительной кюветой

Действительно, согласно [2, 7], растворенный в жидкости водород будет постепенно переходить в газообразное состояние. Данный процесс будет происходить до установления термодинамического равновесия между фазами, находящимися в газообразном и жидком состояниях. В этом случае время установления равновесия во многом определяется процессами диффузии, которые активизируются при пониженных давлениях газообразной среды над жидкостью за счет «вскипания» масла. Доля оставшегося газа в жидкой фазе в условиях достижения равновесия тем меньше, чем меньше коэффициент распределения. Коэффициент распределения водорода равен 0,089 [2]. Он будет тем меньше, чем больше объем газового пространства над маслом [7]. Эксперименты показали, что через время $t_{установл.} = 30$ мин после импульсного про-

боя рост зависимости $V(t)$, представленной на рис. 2 (кривая *1*), прекращается. Данное обстоятельство свидетельствует о прекращении эмиссии водорода из жидкости и может быть связано с завершением процесса перехода этого газа из жидкой фазы в газовую.

Дальнейшие эксперименты показали, что при одной и той же энергии импульсного разряда $t_{\text{установл.}}$ меняется от одной вспышки к другой. Имелись случаи, когда после импульсного разряда нарастание $V(t)$ не наблюдалось. Более детальные исследования этого явления показали, что в результате импульсного электрического разряда за счет гидродинамического удара происходит сильное возмущение жидкости, в результате чего капли масла попадают на вакуумный трубопровод 9 (рис. 1), соединяющий камеру для трансформаторного масла с оптической измерительной кюветой. В результате этого газовый объем камеры для трансформаторного масла в некоторый момент времени после электрического разряда разъединяется от оптической кюветы тонким слоем диэлектрической жидкости, что приводит к замедленному поступлению части образовавшегося газа в оптическую измерительную кювету. В связи с этим конструкция камеры для трансформаторного масла была несколько изменена. На некотором расстоянии от поверхности диэлектрической жидкости над межэлектродным промежутком был помещен экран, препятствующий попаданию капель масла на вакуумный трубопровод. После такой незначительной модернизации камеры для трансформаторного масла характер зависимости $V(t)$ изменился (см. рис. 2, прямая 2). Весь объем водорода, образующийся в результате импульсного электрического разряда, полностью выделяется из жидкости в первый же момент времени.

Эксперименты показывают, что количество водорода $V(t=0)$, выделяющегося из жидкости непосредственно после пробоя, возрастает при увеличении энергии разряда, определяемого из отношения:

$$V = CU^2/2, \tag{1}$$

где C и U – ёмкость и напряжение накопительного конденсатора.

Представляет интерес изучение зависимости общего объема водорода V, выделившегося из масла, от энергии разряда ε. На рис. 3 представлены экспериментально полученные значения V при различных ε, обозначенные в виде точек.

В данном случае энергия разряда варьировалась изменением емкости накопительного конденсатора при постоянном значении $U = 1{,}5$ кВ. Видно, что с увеличением ε происходит существенное возрастание V от нулевого уровня по нелинейному закону. Интерполяция экспериментально полученных точек $V(\varepsilon)$ по методу наименьших квадратов приводит к функции

$$V = k\varepsilon^{1/2}, \tag{2}$$

где k – некоторый коэффициент ($k = 2\times10^{-4}$). Как видно из рис. 3, полученная функция удовлетворительно описывает представленную экспериментальную зависимость. Это позволяет оценивать объем V по известному значению энергии импульсного разряда, возможного в высоковольтных трансформаторах [8].

Таким образом, существует возможность оперативного селективного контроля водорода в газовой смеси над диэлектрической жидкостью методом лазерной спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света на мощных силовых трансформаторах. Размещение такой установки возможно в расширительной ёмкости силового трансформатора. В этом случае у дежурного диспетчера подстанции появится возможность оперативно вести

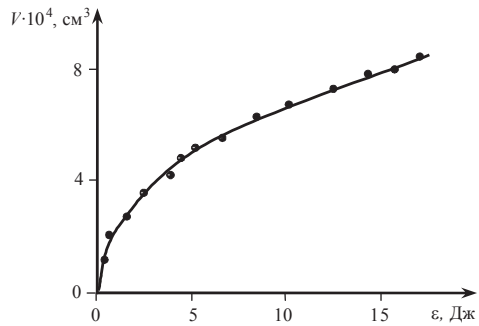


Рис. 3. Зависимость общего объема V_{H2} выделившегося водорода из масла от энергии ε импульсного электрического разряда (сплошная аппроксимирующая кривая $V_{H2} = k\varepsilon^{1/2}$)

наблюдение за кинетикой выделения водорода из диэлектрической жидкости. По сравнению с хроматографическим методом анализа данный метод позволяет контролировать дорогостоящее электрооборудование в реальном масштабе времени и с более высокой точностью.

Литература

1. *Аракелян В.Г., Дарьян Л.А., Лоханин А.К.* Разложение изоляционных жидкостей под действием частичных разрядов, тепла и ультразвукового поля // Электричество. 1988. № 5. С. 33-38.

2. *Аракелян В.Г.* Газовая хроматография в диагностике высоковольтного оборудования // Электротехника. 1994. № 2. С. 8-17.

3. *Михеев Ген.М., Малеев Д.И., Махнев Е.С., Могилева Т.Н.* Анализ водорода в металлах и сплавах методом спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света // Журнал прикладной спектроскопии. 1994. Т. 60, № 1-2. С. 11-18.

4. РД 34.43.105-89. Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел. М.: СПО ОРГРЭС, 1995. 86 с.

5. *Михеев Ген.М., Малеев Д.И., Могилева Т.Н.* Эффективный одночастотный ИАГ:Nd^{+3}-лазер с пассивной модуляцией добротности и поляризационным выводом излучения // Квантовая электроника. 1992. Т. 19, № 1. С. 45-47.

6. Измерение количества свободного и связанного водорода в аморфном углероде / *О.И. Коньков, И.Н. Капитонов, И.Н. Трапезникова и др.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23, № 1. С. 3-8.

7. *Макарова Т.В., Губернаторова Е.А.* Акустика и ультразвуковая техника // Тэхника. 1991. № 26. С. 15-19.

8. *Михеев Ген.М., Михеев Г.М.* Применение метода лазерной спектроскопии для анализа водорода, образующегося при электрическом пробое трансформаторного масла // Электричество. 1996. № 7. С. 33-36.

МИХЕЕВ ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ. См. с. 207.

УДК 621.314.222.6:620.9
ББК 3261.8

Г.М. МИХЕЕВ, Л.Г. ЕФРЕМОВ, Д.Е. ИВАНОВ

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ключевые слова: *силовые трансформаторы, повышение эффективности, снижение потерь, магнитопровод.*

Приведены основные эволюционные изменения в конструкции силовых трансформаторов. Рассмотрены проблемы и необходимость замены изношенного парка силовых трансформаторов, представлены возможные пути изменения их конструкции, позволяющие уменьшить потери.

G.M. MIKHEEV, L.G. EFREMOV, D.E. IVANOV

THE METHODS OF IMPROVEMENT OF THE POWER TRANSFORMERS ENERGY PERFORMANCE EFFECTIVENESS

Key words: *power transformers, effectiveness improvement, loss reduction, magnetic core.*

The article presents main evolution changes in the design of power transformers. Problems and the necessity of the replacement of shopworn park of power transformers, possible methods of improvement of the power transformers design allowing reducing loss are considered.

Окружающая нас техника стремительно видоизменяется. Технический прогресс предоставляет возможности и требует применения более совершенных устройств, эффективных и способных адаптироваться к новым условиям работы. В то же время все эти новые устройства быстро устаревают. Всё это в полной мере относится и к силовым трансформаторам.

Однако в настоящее время необходимость замены существующих трансформаторов становится все более острой проблемой. Одной из основных причин является их изношенность. По некоторым данным, сегодня в России 60% силовых трансформаторов работают с просроченным сроком эксплуатации. Другая основная причина необходимости их замены заключается в том, что они уже не удовлетворяют требованиям сегодняшнего дня по причине того, что их эксплуатация связана с большими потерями. Но сегодня уже существуют технические и технологические решения для того, чтобы устранить этот недостаток.

Рассмотрим основные эволюционные пути развития силовых трансформаторов, начиная со дня их применения в электроэнергетике в масштабе не отдельно взятого государства, а мира в целом.

Первые трансформаторы в мире появились в 1885 г. 80-е гг. XIX в. вошли в историю электротехники под названием «трансформаторных битв». Тонкие пластины из листовой стали, из которых состояли сердечники первых трансформаторов, характеризовались значительными потерями на гистерезис. Впоследствии потери постепенно стали снижаться (за счёт тщательного подбора стали, поставляемой различными производителями) и к 1900 г. были уменьшены вдвое. Возникла также проблема, связанная со старением материала: чем дольше эксплуатировался трансформатор, тем выше становились потери на гистерезис.

В начале 1900-х гг. английский исследователь-металлург Р.А. Хедфилд провёл серию экспериментов с целью установить, каким образом добавки других элементов влияют на свойства железа. В ряде публикаций Хедфилд и его коллеги указывали на перспективность использования кремнистой стали в качестве материала для сердечников. При добавлении кремния потери на гистерезис в железе уменьшались, магнитная проницаемость повышалась, эффект старения практически полностью исчезал, а электрическое сопротивление металла возрастало. Однако производство кремнистой стали натолкнулось на трудности, и прошло несколько лет, прежде чем компания Хедфилда поставила заказчикам свою первую тонну трансформаторной стали [3].

Следующий скачок в технологии производства сердечников был сделан в начале 1930-х гг., когда американский металлург Н.П. Госс, сотрудник компании *Cold Metall Pzocess Company*, установил, что при комбинированном воздействии проката и нагревания у кремнистой стали появлялись незаурядные магнитные свойства в направлении прокатки. Эффект, физической сущности которого Госс тогда не понимал, заключался в том, что благодаря такой обработке главные оси частиц железа выстраивались в одном направлении, что приводило к коллективному магнитному взаимодействию. Если сердечник, изготовленный из такого материала, был соответствующим образом ориентирован в трансформаторе, магнитное насыщение увеличивалось на 50%, потери на гистерезис сокращались в 4 раза, а магнитная проницаемость возрастала в 5 раз.

Процесс воплощения этого открытия в технологии производства листовой стали достаточно высокого качества оказался сложным и длительным. Корпорация *Westinghouse Electric Corporation* и металлургическая компания *Rolling Mill Company* объединили свои усилия в попытках создания необходимой технологии. Над этой же проблемой начали работать фирмы *Genezal Electric* и металлургическая фирма *Allegheny Ludlum Stee1 Company*. Обмен лицензиями между этими двумя группами позволял им воспользоваться успехами, достигнутыми на каждой из фирм.

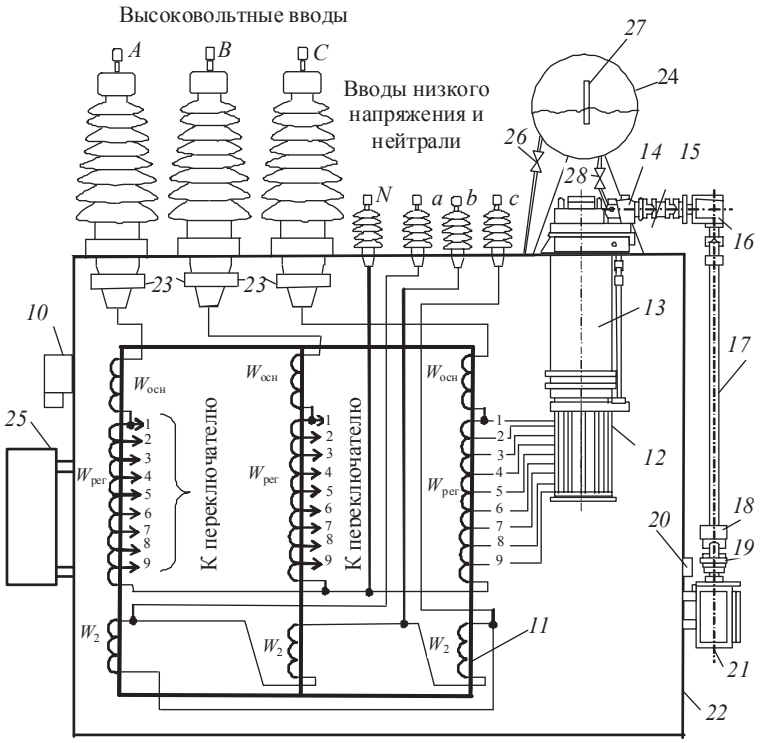
Поскольку теперь металл нужно было специальным образом ориентировать в сердечнике, технологию производства сердечников также потребовалось изменить. Уже нельзя было просто штамповать Ш-образные пластины из сплошных стальных листов. Чтобы добиться оптимальных характеристик, нужно было вырезать каждую ножку Ш отдельно. До 1941 г. открытие Госса не нашло широкого применения в производстве, но в последующий период оно сыграло важную роль в дальнейшем усовершенствовании трансформаторов [3].

Для магнитных систем трансформаторов в настоящее время применяют холоднокатаную рулонную сталь марок 3404, 3405, 3406 и др. (ГОСТ 21427.0-75) Эти ста-

ли обладают высокой магнитной индукцией и низкими удельными потерями. Например, для стали 3406 толщиной 0,28 мм допустимая индукция 1,7 Тл (горячекатаная – 1,45 Тл); при намагничивании её вдоль проката и индукции 1,6-1,65 Тл (частоте 50 Гц) удельные потери этой стали составляют 1,25-1,3 Вт/кг, а при намагничивании под углом 90° к направлению проката – почти в 3 раза больше.

Эффективность работы силового трансформатора зависит также от систем электрической изоляции и охлаждения. Функции этих двух составляющих тесно взаимосвязаны, поскольку энергия, выделяемая в виде тепла в сердечнике и проводниках, влияет на долговечность изоляции. В то время как сама изоляция – будь она твёрдая, жидкая или газообразная – служит также для того, чтобы отводить определённое количество тепла. Температура жидкой изоляции внутри трансформатора, обычно близка к точке кипения воды. В таких условиях ухудшение свойств изоляционного материала может ограничивать долговечность трансформатора.

Конструкция силовых трансформаторов, как масляных, так и сухих, уже более многих десятилетий является практически неизменной: магнитопровод, обмотки, бак (для масляных трансформаторов). На рисунке представлена упрощенная, но в то же время наглядная схема устройства современного силового трансформатора.



Основные элементы силового трансформатора с РПН погружного типа (например, РС-4, РНОА, SDV, SAV, SCV): 1-9 – ответвления регулировочной обмотки ВН; 10 – предохранительный клапан; 11 – магнитопровод; 12 – переключатель; 13 – контактор; 14 – поворотный редуктор; 15 – горизонтальный карданный вал; 16 – угловой редуктор; 17 – вертикальный вал; 18 – датчик положения; 19 – нониусная муфта; 20 – датчик температуры; 21 – привод РПН; 22 – бак трансформатора; 23– встроенные трансформаторы тока; 24 – расширитель; 25 – термосифонный фильтр; 26 – газовое реле бака трансформатора; 27 – указатель уровня масла; 28 – газовое реле РПН; $W_{осн}$, $W_{рег}$ – соответственно, основная и регулировочная обмотки ВН, W_2 – обмотка НН

Изменения, происшедшие в последние годы в силовых трансформаторах, обычно не глобальные, а эволюционные. Действительно, на смену маркам горячекатаной электротехнической стали пришли холоднокатаные. Вместо меди для обмоток стали часто использовать алюминий, способ шихтовки магнитопровода с «прямого стыка» изменился на «косой стык». Толстостенный бак с расширительным бачком уступает место герметичному тонкостенному гофробаку и т.д. Для определения состояния мощных силовых трансформаторов на них начали устанавливать устройства мониторинга, такие, как, например, хроматографы, всевозможные датчики давления и температуры и т.д.

Но сегодня энергоэффективность коммерческого или личного хозяйства – уже не благое пожелание. Потери энергии – это потерянные финансовые средства. Сокращение потерь энергии, наоборот, – это тренд, ведущий к росту, расцвету и благосостоянию предприятия. Сокращения потерь электроэнергии в большей степени можно добиться за счет изменений в конструкции трансформатора и материалов, в нём используемых.

Возможными способами повышения энергоэффективности силового трансформатора являются: оптимальный коэффициент нагрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора); увеличение коэффициента мощности (соотношение активной и реактивной мощности потребителя); уменьшение мощности потерь холостого хода (мощность потерь в магнитопроводе трансформатора); уменьшение мощности потерь короткого замыкания (мощность потерь в обмотках трансформатора).

Оптимальный коэффициент нагрузки – отсутствие колебаний напряжений в сети, как в первичной, так и во вторичной. Высокий коэффициент мощности – это компенсация реактивной мощности.

Чтобы скомпенсировать колебания напряжения, необходимо переключаться с одного ответвления первичной обмотки на другое, с отличающимся числом витков. Сегодня эта процедура выполняется с помощью так называемых переключающих устройств, именуемых регуляторами напряжения под нагрузкой (РПН), работающих как программно-механические коммутаторы. Чтобы не произошёл быстрый износ контактов в подобных устройствах, переключение ответвления обмотки с одного положения на другое должно длиться не более одной секунды, а длительность работы контактов контактора ещё меньше – около 40 мс. В зависимости от класса напряжения и мощности на силовых трансформаторах энергосистемы России и на промышленных предприятиях в настоящее время используются такие РПН, как РС (производства Болгарии), РНОА (производства Украины), *SDV, SAV, SCV* (производства Германии), РНТА (производства России) и т.д.

Как показывает статистика, 30% повреждений силовых трансформаторов происходит именно из-за отказа РПН. Данную проблему может решить отказом от электромеханических переключателей и переходом к твёрдотельным, использующим свойства полупроводникового перехода. Надёжность таких переключателей гораздо выше. Однако управлять ими существенно сложнее. Но и это вполне достижимо. Реализация проекта повысит качество электрической энергии, что означает не только стабильность напряжения, но и более надёжную топологию электроэнергетической сети.

Уменьшение мощности потерь холостого хода связано с изменением конструкции и материала магнитопровода. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов – применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов (АС). В этом случае обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали [4].

Сегодня силовые распределительные трансформаторы с сердечником из аморфной стали серийно выпускаются в США, Канаде, Японии, Индии, Словакии. Всего в мире уже изготовлено 60-70 тыс. ед. трансформаторов мощностью 25-100 кВ·А, примерно 1000 ед. прошли успешные многолетние испытания в различных энергосистемах. Наибольших успехов добились США и Япония. Японская фирма «*Hitachi*» в со-

трудничестве с американской «*Allied Signal*» выпустила группу силовых трансформаторов мощностью от 500 до 1 тыс. кВ·А. Сердечники этих трансформаторов изготовлены из аморфного сплава. Испытания показали, что потери энергии в сердечнике таких трансформаторов на 80% меньше по сравнению с таковыми в стальных аналогах [4].

Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами. У японской фирмы эта разница достигает 15-20% [4].

Компания «*Allied Signal*» производит аморфный сплав для трансформаторов на заводе в г. Конуэй (США). Его цена не превышает стоимости кремнистой стали – 2-2,5 долл./кг. Тем не менее, руководство фирмы утверждает, что производство таких сердечников обходится дороже из-за большего потребления металла и несовершенства технологического процесса. Еще одной проблемой является усложнение процесса изготовления сердечника по мере увеличения его размеров. Японской фирме с этой целью пришлось освоить специальную технологию. «*Allied Signal*» имеет два завода по выпуску сердечников из аморфных сплавов: один в Индии (с 1993 г.) и другой в КНР (в г. Шанхай с 1996 г.). Годовая мощность последнего составляет 450 т, в ближайшее время предполагается её увеличение в три раза. Фирмы-партнёры рассчитывают на сбыт силовых трансформаторов с сердечником из аморфных металлов на рынках стран, где стоимость электроэнергии значительно выше по сравнению с таковой в других странах [4].

Особенности АС потребовали изменения конструкции магнитопровода. В связи с малой толщиной аморфный материал наиболее пригоден для витой конструкции магнитопровода, т.е. для трансформаторов I-II габарита (до 1000 кВ·А). К условно витой конструкции магнитопровода можно отнести технологию производства магнитопроводов *UNICORE*, разработанную и запатентованную австралийской компанией *A.E.M. Cores*.

Технология *UNICORE* является очень гибкой, высокоточной и надежной. Одним из основных её преимуществ является получение минимальных потерь в сердечнике. Магнитный поток не преодолевает препятствие в виде воздушного зазора, а минует его, используя соседние несущие ленты (дорожки), которые, в свою очередь, таких препятствий в этом месте не имеют.

Другим важным путём уменьшения потерь холостого хода является соблюдения режима загрузки трансформаторов. Не секрет, что в этом направлении на предприятиях энергосистем мало что изменилось, хотя эту тему будут обсуждать ещё долго.

Уменьшение мощности потерь короткого замыкания (потери в обмотках) – это инновации в конструкции обмоток силового трансформатора. В этой области наиболее интересны два направления.

Первое связано с использованием высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов. Отметим следующие преимущества трансформаторов с обмотками из ВТСП-материалов [1, 2]: 1) снижение нагрузочных потерь при номинальном токе почти в два раза, что значительно увеличивает КПД трансформатора; 2) уменьшение массы и габаритов трансформатора до 40%, что, в свою очередь, позволяет применять такие трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструкционных изменений со значительным увеличением мощности; 3) свойство ограничения токов короткого замыкания, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети; 4) значительное уменьшение реактивного сопротивления, что позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию; 5) большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора; 6) уменьшение уровня шума; 7) пожаробезопасность; 8) экологичность; 9) увеличение срока службы; 10) облегчение транспортировки.

Второе направление уменьшения мощности потерь короткого замыкания – это новый тип трансформатора *DryFormer* (фирма *ABB Tranformatoren*), обмотки которого выполняются из специального кабеля. Этот кабель имеет многопроволочную медную или алюминиевую токопроводящую жилу, поверх которой наложен тонкий слой полупроводящего материала, что позволяет устранить неравномерность электрического поля, вы-

званного многопроволочностью жилы. Изоляция такой жилы изготавливается из полиэтилена, её толщина выбирается из соображений электрической прочности (практически достижим уровень напряжения 220 кВ). Поверх изоляции наложен экран, выполненный также из полупроводящего материала, который заземляется, что обеспечивает рациональное распределение электрического поля. Отсутствие масла, снижение более чем вдвое доли горючих материалов по сравнению с обычным трансформатором устраняют риск пожара, взрыва, загрязнения воды и почвы в случае повреждения трансформатора. Это позволяет применять такие аппараты в зонах с большой плотностью населения, в подземных установках, в экологически охраняемых регионах. Для такого трансформатора не нужны вводы высокого напряжения, так как кабель, из которого выполнена обмотка, протягивается к распределительному устройству на любую длину.

Перечисленные выше направления совершенствования конструкции силовых трансформаторов в энергоэффективном тренде в России пока не нашли воплощения в серийно выпускаемых моделях. И дело здесь не только в затратах на исследования, производство и многоплановые испытания опытных образцов. Одной из причин является отсутствие экономических стимулов производителя и покупателя.

Силовые распределительные трансформаторы мощностью 25-630 кВ·А напряжением 6-10 кВ – самая массовая серия производимых и эксплуатируемых силовых трансформаторов как в нашей стране, так и за рубежом. Общее количество распределительных трансформаторов, находящихся в эксплуатации, в России составляет более чем 4 млн ед.

Ежегодное потребление электроэнергии в России находится на уровне 900-1000 млрд кВт·ч, при этом общие потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 7,5 млрд кВт·ч и примерно 50% – это потери в магнитопроводах трансформаторов [4].

Ежегодные затраты на обслуживание одного распределительного трансформатора с магнитопроводом из холоднокатаной электротехнической стали составляют примерно 8% от его первоначальной стоимости.

Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов – это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали.

Выводы. 1. Для создания эффективных силовых трансформаторов необходимо использование высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов.

2. Для уменьшения потерь короткого замыкания необходимо применять обмотки из специального кабеля.

Литература

1. ВТСП трансформатор [Электронный ресурс] // ОАО «Русский сверхпроводник»: сайт. URL: http://russuperconductor.ru/produkciya/prototipy-vtsp-izdeliy-1/transformator.

2. *Елагин П.* Высокотемпературные сверхпроводниковые трансформаторы. Новое поколение подстанционного оборудования [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2005. № 1(31). URL: http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/04.php.

3. *Колтмен Дж.У.* Трансформатор // В мире науки. 1988. № 3. С. 68-76.

4. *Савинцев Ю.М.* Анализ состояния производства в РФ силовых масляных трансформаторов I-III габаритов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2012. № 1. С. 43-53.

МИХЕЕВ ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ. См. с. 207.

ЕФРЕМОВ ЛЕОНИД ГЕОРГИЕВИЧ – доктор экономических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (efremov1@chuvsu.ru).

EFREMOV LEONID GEORGIEVICH – doctor of economics sciences, professor of Electric Power Industry Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ИВАНОВ ДЕНИС ЕВГЕНЬЕВИЧ – инженер-технолог, ООО «КомплектЭнерго», Россия, Чебоксары.

IVANOV DENIS EVGENEVICH – engineer-technologist of LLC «KomplectEnergo», Russia, Cheboksary.

УДК 621.314.222.6
ББК 3261.883

Г.М. МИХЕЕВ, Х.У. КАЛАНДАРОВ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ СЕРИИ РС

Ключевые слова: *переключающее устройство, диагностирование, регулятор напряжения под нагрузкой, алгоритм, контактная система, постоянная времени, осциллографирование.*

Рассмотрено диагностирование напряжения под нагрузкой силовых трансформаторов без вскрытия бака контактора и слива из него трансформаторного масла. Приведён алгоритм автоматизированного определения работоспособности РПН типа РС.

G.M. MIKHEEV, Kh.U. KALANDAROV

TAP ON-LOAD SERIES «PC» DIAGNOSTICS AND IT'S WORKING ALGORITHM

Key words: *tap-changer, diagnostics, tap on-load, algorithm, contact system, reaction time, oscillography.*

The voltage diagnostics of power transformers on-load without opening the contactor's tank and discharging the transformer oil is considered. The algorithm of automated performance measurement the tap on-load of series «PC».

Известно применение переключающих устройств (ПУ) для регулирования напряжения на шинах подстанций. Широкое применение нашли схемы со ступенчатым регулированием напряжения с помощью ПУ силовых трансформаторах (СТ). Простейшая схема регулирования напряжения предусматривает изменение напряжения трансформатора путём изменения числа витков одной из обмоток при помощи специального регулирующего устройства. Различают два вида устройства: переключения при полностью отключённом трансформаторе типа ПБВ и регулятор напряжения под нагрузкой (РПН). В первом случае схема позволяет решить вопрос регулирования напряжения наиболее просто, так как имеется лишь избиратель, и в этом её достоинство. Но в этом случае не выполняется требование бесперебойного электроснабжения потребителя, что является существенным недостатком схемы.

Одна из наиболее распространённых схем трансформатора с РПН – это трансформатор со встроенным регулированием напряжения. Такой СТ имеет регулировочные ответвления, переключаемые под нагрузкой с помощью специальных аппаратов. На выводах такого трансформатора непосредственно получается отрегулированное напряжение.

В системе энергетики самое большое распространение получили ПУ с токоограничивающими резисторами (ТР) серии РС. Количество подобных РПН превалирует над ПУ реакторного типа, которые имеют существенный недостаток – громоздкость.

Устройство РПН серии РС применяется для регулирования напряжения под нагрузкой в СТ напряжением до 220 кВ мощностью до 100 МВ·А [2].

Основными элементами ПУ являются механизм переключения, состоящий из контактора, избирателя и предызбирателя, и приводной механизм. Наличие ТР в РПН серии РС, рассчитанных на кратковременную работу, мощных аккумулирующих пружин, большие скорости подвижных частей и связанные с этим механические удары заставляют предъявлять весьма жёсткие требования к надёжности конструкции, качеству материалов и точности изготовления.

У ПУ реакторного типа для проверки последовательности действий контактов снимается круговая диаграмма, у быстродействующих устройств типа РС осцилло-

графируется, кроме того, процесс работы контактора. Правильность чередования срабатываний контактов контактора и проверки целостности (отсутствие разрыва) цепи тока проверяется осциллографированием [2].

Традиционная методика осциллографирования токов контактной системы ПУ требует достаточно трудоёмкой процедуры слива масла из бака РПН и присоединения цепей измерения непосредственно к узловым точкам контактов контактора внутри его бака. По этой причине в [1] предложено проведение этих работ без вскрытия бака РПН и слива из него трансформаторного масла с помощью специальной методики с применением многоканального цифрового осциллографа. Ниже приведена схема осциллографирования токов контактной системы РПН с ТР (рис. 1) согласно приведённой методике [1].

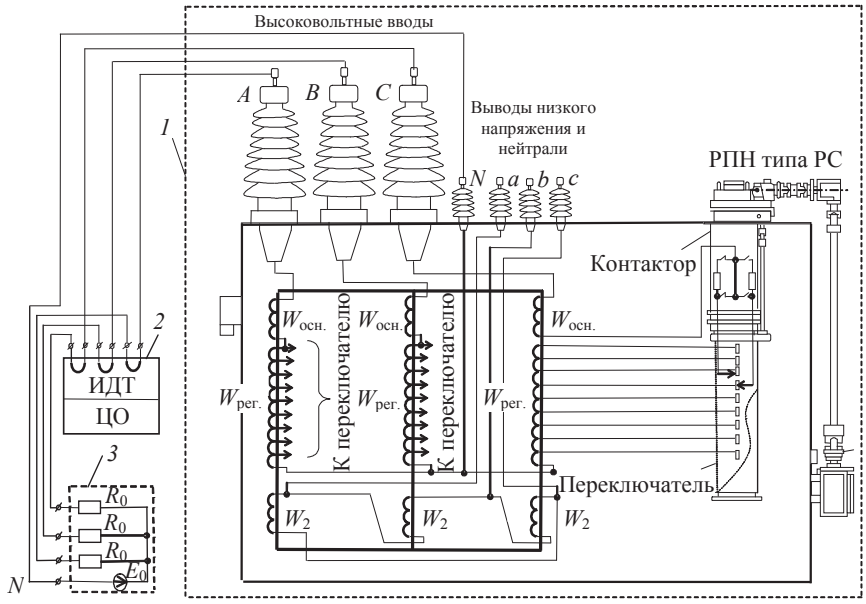


Рис. 1. Схема осциллографирования токов в контактной системе РПН:
1 – силовой трансформатор; 2 – многоканальный цифровой осциллограф;
3 – источник напряжения постоянного тока, где E и R_0 – ЭДС и сопротивление источника напряжения постоянного тока, соответственно

Данная методика предполагает оценку параметров, процессов переключения контактов контактора РПН с разбивкой цифровых осциллограмм тока на пять последовательных во времени интервалов с нарастающей нумерацией.

Причём первый интервал соответствует времени до начала работы контактов контактора. Второй интервал соответствует времени прохождения тока по ТР первого (левого) плеча контактора. Третий интервал соответствует времени параллельной работы ТР первого и второго (правого) плеч контактора. Четвёртый интервал соответствует времени прохождения тока по ТР второго плеча контактора. Пятый интервал соответствует времени после переключения контактов контактора. Граница между первым и вторым интервалами определяется как момент времени начала спада тока, граница между четвёртым и пятым интервалами – как время, соответствующее минимальному значению тока, в то время как границу раздела между вторым и третьим, а также между третьим и четвёртым интервалами находят по скачкообразному изменению постоянной времени свободной составляющей переходного процесса в *RL* модели обмотки трёхфазного СТ (рис. 2).

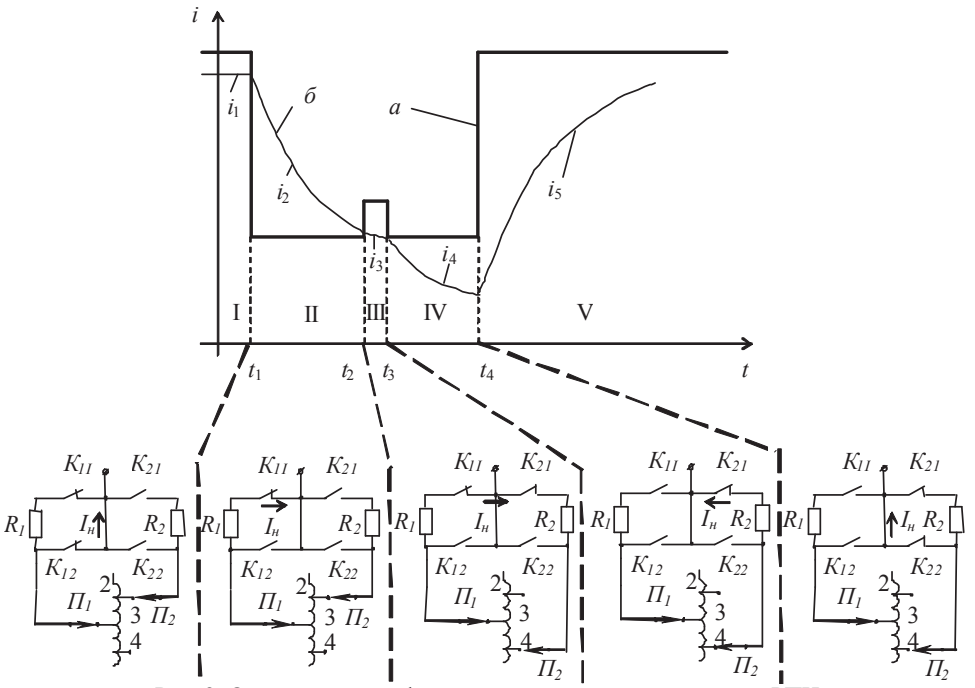


Рис. 2. Осциллограммы фазного тока контактов контактора РПН
а – реальные осциллограммы тока одной из фаз контактора по традиционной методике;
б – осциллограммы фазного тока без слива трансформаторного масла, где I – время совместной работы главных и дугогасительных контактов первого плеча контактора;
II – время работы дугогасительного контакта первого плеча контактора; III – время совместной работы дугогасительных контактов первого и второго плеча контактора; IV – время работы дугогасительного контакта второго плеча контактора; V – время совместной работы главных и дугогасительных контактов второго плеча контактора

Нами разработан алгоритм автоматизированного определения работоспособности РПН серии РС без вскрытия бака контактора и слива из него трансформаторного масла. Ниже приводим описание работы данного алгоритма (рис. 3).

Перед началом работы алгоритма вводится k – счётчик, устанавливающий периодичность определения состояния РПН, наименование подстанции, диспетчерское наименование СТ, заводской номер РПН.

Затем вводятся значения постоянной времени $\tau_{i2Ап}$, $\tau_{i2Вп}$, $\tau_{i2Сп}$, $\tau_{i3Ап}$, $\tau_{i3Вп}$, $\tau_{i3Сп}$, $\tau_{i4Ап}$, $\tau_{i4Вп}$, $\tau_{i4Сп}$, полученные во время пусконаладочных испытаний оборудования или от данных предыдущих измерений. Опишем дальнейшую работу алгоритма для фазы «А» (для остальных фаз действия алгоритма будут аналогичными).

Вначале производится измерение $\tau_{i2Ак}$. Равенство $\tau_{i2Ак}$ и $\tau_{i2Ап}$ формирует сообщение «Норма ф. «А» левого плеча». Если $\tau_{i2Ак} \neq \tau_{i2Ап}$, то алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i2Ак} > \tau_{i2Ап}$. В случае выполнения этого условия ставится диагноз «Витковое замыкание ТР левого плеча», который записывается в базу данных. Если условие $\tau_{i2Ак} > \tau_{i2Ап}$ не выполняется, то алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i2Ак} = 0$. При его выполнении констатируют: «Обрыв ТР ф. «А» левого плеча», а результаты записываются в базу данных. Если условие $\tau_{i2Ак} = 0$ не выполняется, то алгоритм выдаёт результат $\tau_{i2Ак} < \tau_{i2Ап}$, что означает «Дефект в контактной системе». Сразу же после этой процедуры происходит запись значения $\tau_{i2Ак}$ в базу данных для её пополнения, после чего идёт переход на следующий шаг опроса и производится измерение $\tau_{i3Ак}$. При нахождении $\tau_{i3Ак}$, значение которого равно $\tau_{i3Ап}$, формируется сигнал «Норма ф. «А» схемы моста».

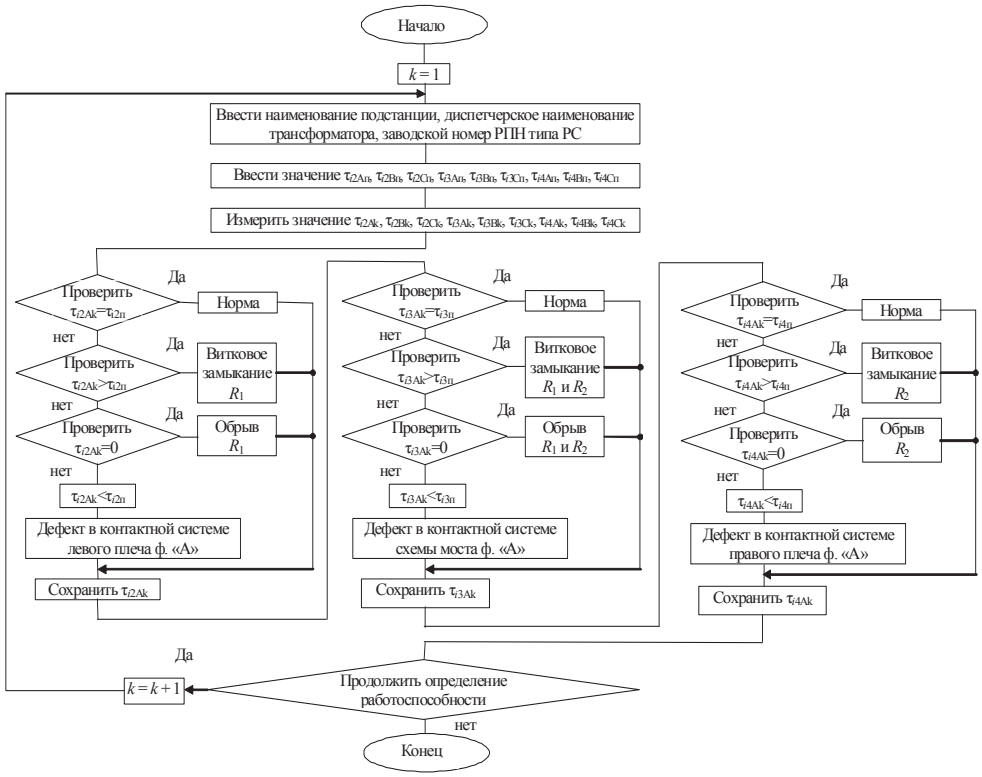


Рис. 3. Алгоритм автоматизированного
определения работоспособности РПН типа РС

Если $\tau_{i3Ак} \neq \tau_{i3Ап}$, то алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i3Ак} > \tau_{i3Ап}$. В случае выполнения этого условия ставится диагноз «Витковое замыкание ТР обоих плеч». Данная информация также записывается в базу данных. Если условие $\tau_{i3Ак} > \tau_{i3Ап}$ не выполняется, то алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i3Ак} = 0$. Выполнение этого условия свидетельствует: «Обрыв ТР ф. «А» обоих плеч», и результаты записываются в базу данных. Если условие $\tau_{i3Ак} = 0$ не выполняется, то алгоритм выдаёт результат $\tau_{i3Ак} < \tau_{i3Ап,}$ что означает «Дефект в контактной системе». Сразу же после этой процедуры происходит запись значения $\tau_{i3Ак}$ в базу данных, для её пополнения, после чего идёт переход на следующий шаг опроса и производится измерение $\tau_{i4Ак}$.

Здесь так же, как в предыдущих двух рассмотренных интервалах, в случае $\tau_{i4Ак} = \tau_{i4Ап}$, формируется сигнал «Норма ф. «А» правого плеча». При отсутствии $\tau_{i4Ак}$, значение которого равно $\tau_{i4Ап}$, алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i4Ак} > \tau_{i4Ап}$. В случае выполнения этого условия ставится диагноз «Витковое замыкание ТР левого плеча», который записывается в базу данных. Если условие $\tau_{i4Ак} > \tau_{i4Ап}$ не выполняется, то алгоритм переходит к проверке условия $\tau_{i4Ак} = 0$. При его выполнении констатируют: «Обрыв ТР ф. «А» правого плеча», результаты записываются в базу данных. Если условие $\tau_{i4Ак} = 0$ не выполняется, то алгоритм выдаёт результат $\tau_{i4Ак} < \tau_{i4Ап}$, что означает «Дефект в контактной системе». Полученный результат вводится в базу данных, ставится условие о дальнейшем диагностировании РПН. В случае положительного выполнения условия счётчик k пополняется, и алгоритм переходит на начало программы. Если производится диагностирование следующих двух фаз, то процесс повторяется.

Литература

1. *Михеев Г.М.* Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования / Г.М. Михеев. М.: ИД «Додэка XXI», 2010. 224 с.

2. *Якобсон И.Я.* Наладка и эксплуатация переключающих устройств силовых трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 120 с.

МИХЕЕВ ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ. См. с. 207.

КАЛАНДАРОВ ХУСЕЙНДЖОН УМАРОВИЧ – аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (huseinjon.86@mail.ru).

KALANDAROV KHUSEYNDZHON UMAROVICH – post-graduate student of Electric Power Industry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 620.92:620.97:620.4
ББК 363

Г.П. ОХОТКИН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ключевые слова: *солнечный модуль, солнечная электростанция, автономная солнечная электростанция, импульсный преобразователь постоянного напряжения, автономный инвертор напряжения.*

Разработана методика расчета мощности автономных солнечных электростанций и ее элементов, позволяющая учитывать изменение нагрузки в течение суток и тем самым точно определять требуемую емкость аккумуляторной батареи и исключить неоправданное завышение мощности элементов электростанции и удорожание самой автономной солнечной электростанции.

G.P. OKHOTKIN

THE METHOD OF CALCULATING POWER OF SOLAR POWER

Key words: *solar module, solar power station; Autonomous solar power; pulse Converter DC voltage; Autonomous inverter voltage.*

Developed the method of calculating power of the Autonomous solar power and its elements, which allows to take into account the variation of the load during the day and thus accurately determine the required capacity of the battery and to exclude unjustified overestimation of the capacity of elements of the power plant and the appreciation of the Autonomous solar power plant.

Выработка электроэнергии при помощи электростанций на солнечных элементах применяется сегодня практически во всем мире и объемы использования солнечных батарей постоянно растут. Этому способствуют множество факторов, основными из которых являются использование альтернативных (возобновляемых) источников энергии, которые в последнее время приобретают все большую актуальность и полное отсутствие каких-либо движущихся частей, благодаря чему срок их службы практически не ограничен [1]. Электростанции на солнечных элементах постоянно совершенствуются. Сегодня они могут использоваться как дополнительные источники электроснабжения, работающие совместно с другими или полностью автономные.

Солнечные электростанции, не связанные с промышленной электросетью, т.е. автономные солнечные электростанции (АСЭ), предназначены для электроснабжения небольшого загородного дома, дачи, спортивных площадок, узлов связей и т.д., т.е. потребителей, удаленных от электросетей, подведение электричества для которых обычно влечет высокие финансовые и трудовые затраты.

Бывают АСЭ со стабилизированным и нестабилизированным выходным напряжением [2]. Функциональные схемы автономных солнечных электростанций состоят из солнечных батарей, необходимой мощности – для преобразования солнечного све-

та в электроэнергию; импульсных преобразователей постоянного напряжения – для приведения плавающего напряжения солнечных модулей и аккумуляторных батарей к стабильному напряжению и зарядки аккумуляторных батарей, которые могут быть объединены в контроллер заряда-разряда аккумуляторных батарей; аккумуляторных батарей – для аккумулирования и хранения электроэнергии; автономного инвертора напряжения – для преобразования постоянного тока в переменный 220 В и питания бытовых электроприборов.

Для проектирования автономных солнечных электростанций требуется определение номинальной мощности солнечных модулей, их количества, ёмкости аккумуляторных батарей, мощностей инвертора и контроллера заряда-разряда. При этом необходимыми данными для расчета мощности солнечной электростанции являются: район расположения; существующие подводки (если они имеются); общая площадь дома; количество помещений; используемые электроприборы; наличие отопления и горячего водоснабжения; суммарная максимальная мощность всех электроприборов; примерное время работы каждого электропотребителя.

Данные вопросы в доступной литературе освещены недостаточно полно, поэтому разработка методики расчета мощности автономных солнечных электростанций и ее элементов, является актуальной задачей.

Целью данного исследования является разработка методики расчета мощности автономных солнечных электростанций, которая для удобства представления разбита на несколько основных этапов. Рассмотрим подробнее методику расчета по предложенным этапам.

Этап 1. Расчет выходной мощности АСЭ. При проектировании автономной солнечной электростанции сначала нужно составить список всех потребителей электроэнергии, выяснить их потребляемую мощность, напряжение и внести в список (табл. 1). Потребители переменного напряжения (№ 1-№ 4, табл. 1) подключаются к основной шине питания АСЭ через индивидуальные автономные инверторы напряжения, а потребители постоянного напряжения Н1, Н2 (№ 7 и № 8, табл. 1) со значениями напряжения, отличающимися от номинального значения напряжения основной шины – через импульсные преобразователи постоянного напряжения как повышающего, так и понижающего типов. Потребитель (№ 5, табл. 1) подключается «напрямую» к основной шине питания, а потребитель (№ 6, табл. 1) подключен к дополнительной шине питания, т.е. к отдельной аккумуляторной батарее АСЭ. За основную шину питания, принимается шина, к которой в ночное время суток подключается аккумуляторная батарея АСЭ либо напрямую, либо через повышающий ИППН. В нашем примере в качестве основной шины питания принята шина с напряжением = 24 В, соответствующим напряжению аккумуляторной батареи АСЭ.

В случае присутствия в списке потребителей нагрузок с различными типами и значениями напряжений питания необходимо пересчитать их мощности на основную шину питания АСЭ. Тогда мощности отдельных нагрузок на основную шину питания пересчитываются по формуле:

$$P_{\text{ос},i} = P_{\text{н},i} / \eta_i \,, \qquad (1)$$

где $P_{\text{н},i}$ – мощность i-го потребителя; $P_{\text{ос},i}$ – мощность i-го потребителя, пересчитанная на основную шину АСЭ; η_i – КПД i-го автономного инвертора напряжения или i-го импульсного преобразователя постоянного напряжения для потребителей, соответственно, переменного и постоянного токов (в табл. 1 КПД АИН и ИППН принимается равным 0,8). Если потребитель постоянного тока подключается к основной шине питания «напрямую» или питается от отдельной аккумуляторной батареи напряжением, меньшим напряжения аккумуляторной батареи АСЭ (№ 6, табл. 1), то в формуле пересчета (1) КПД принимается равным единице.

Затем нужно оценить, сколько времени в течение суток используются те или другие электроприборы, и, умножив мощность прибора на время его работы, определить еже-

дневную потребность в электроэнергии, эти данные записать в соответствующие колонки таблицы. Так составляется таблица общего энергопотребления за сутки.

Таблица 1

Таблица общего энергопотребления за сутки

№ п/п	Нагрузка	Напряжение, мощность	Мощность на основной шине, Вт	Время работы, ч/сут.	Энерго-потребление, Вт·ч/сут.
1.	Электрический чайник, АИН	~ 220 В, 1000 Вт	1250	0,25	312,5
2.	СВЧ-печь, АИН	~ 220 В, 1200 Вт	1500	0,25	375
3.	Холодильник, АИН	~ 220 В, 250 Вт	312,5	12	3750
4.	Телевизор, АИН	~ 220 В, 150 Вт	187,5	4	750
5.	Освещение зала	= 24 В, 100 Вт	100	4	400
6.	Освещение кухни и туалета	= 12 В, 50 Вт	50	5	250
7.	Потребитель Н1, ИППН	= 48 В, 120 Вт	150	5	750
8.	Потребитель Н2, ИППН	= 12 В, 90 Вт	112,5	3	337,5
	Итого		**3662,5**		**6925**

Солнечная электростанция может питать много электроприборов при условии, что их энергопотребление не превышает количества электроэнергии, произведенной АСЭ. Список потребителей электроэнергии содержит нагрузки, работающие либо постоянно, либо непостоянно (редко, очень редко). В свою очередь, нагрузки, работающие непостоянно, подразделяются на нагрузки, работающие с фиксированным и плавающим интервалом работы (например, холодильник – № 3, табл. 1). Игнорирование этих факторов может привести к неоправданному завышению выходной мощности и удорожанию автономной солнечной электростанции. Поэтому необходимо правильно определить выходную мощность автономной солнечной электростанции.

Для удешевления АСЭ необходимо составить график изменения нагрузки за сутки, т.е. зависимости суммарной мощности нагрузки потребителей, работающих в текущий момент времени, от времени в течение сутки. При этом необходимо исключить одновременную работу потребителей большой мощности или большого числа потребителей малой мощности и распределить подключение нагрузок во времени так, чтобы выходная мощность АСЭ стремилась к минимуму. Например, примем, что СВЧ-печь подключается к сети только после выключения электрического чайника (№ 1 и № 2, табл. 1). Причем для гарантии последовательного подключения потребителей и удешевления АСЭ их подключение должно производиться к одному АИН с одной розеткой подключения.

При составлении графика изменения нагрузки не представляется возможным точно определить интервалы включения нагрузок с плавающим интервалом работы (холодильник, табл. 1). Поэтому при составлении графика изменения нагрузки для упрощения принимаем, что такие нагрузки являются постоянно действующими.

С учетом вышеприведенных обстоятельств составляется график изменения нагрузки за сутки в виде таблицы (табл. 2). Суммарные мощности нагрузок на выделенных интервалах времени рассчитываются по формуле

$$P_{\text{н},j} = \sum_{i=1}^{N} P_{\text{ос},i}\,, \qquad (2)$$

где N – число потребителей, включенных в сеть на j-м интервале времени.

Таблица 2

График изменения нагрузки за сутки

№ п/п	Нагрузка	Мощность нагрузки на интервалах времени, Вт												
		С 7^{00} до 7^{05}	С 7^{05} до 7^{10}	С 7^{10} до 8^{00}	С 8^{00} до 12^{00}	С 12^{00} до 12^{05}	С 12^{05} до 12^{10}	С 12^{10} до 14^{00}	С 14^{00} до 17^{00}	С 17^{00} до 17^{05}	С 17^{05} до 17^{10}	С 17^{10} до 19^{00}	С 19^{00} до 23^{00}	С 23^{00} до 7^{00}
1.	Электрический чайник	1250				1250				1250				
2.	СВЧ-печь		1500				1500				1500			
3.	Холодильник	312,5			312,5	312,5			312,5	312,5			312,5	312,5
4.	Телевизор												187,5	
5.	Освещение зала												100	
6.	Освещение кухни и туалета	50				50				50				
7.	Потребитель Н1			150				150				150		
8.	Потребитель Н2								112,5					
	Итого	**1612,5**	**1862,5**	**512,5**	**312,5**	**1612,5**	**1862,5**	**512,5**	**425**	**1612,5**	**1862,5**	**512,5**	**600**	**312,5**

Такие электроприборы, как холодильник, насосы, электродрель и ряд других, в момент пуска потребляют мощность в 5-6 раз больше «паспортной». Если таких потребителей с высокой мощностью достаточно много, то это может привести к увеличению выходной мощности и удорожанию автономной солнечной электростанции. В этом случае целесообразно исключить одновременное включение таких электроприборов и осуществить потребление пусковых мощностей от аккумуляторных батарей.

В течение дневного времени суток солнечная батарея заряжает аккумуляторную батарею и обеспечивает питанием потребителей. Принимаем за интервал дневного времени суток: летом $\Delta t_{\text{дв}} = 14$ ч (с 6^{00} до 20^{00}), зимой $\Delta t_{\text{дв}} = 8$ ч (с 8^{00} до 16^{00}). Тогда выходная мощность автономной солнечной электростанции определяется как максимальная мощность нагрузки за интервал летнего дневного времени суток по формуле

$$P_{\text{н}} = \max\{P_{\text{н},\,j}\},\ \forall\, j \in \overline{1,M}, \tag{3}$$

где M – число выделенных интервалов времени, входящих в интервал летнего дневного времени суток.

Согласно табл. 2 выходная мощность автономной солнечной электростанции составляет $P_{\text{н}} = 1862{,}5$ Вт, которая будет использоваться для расчета мощности солнечной батареи АСЭ.

Рассмотренная выше методика расчета выходной мощности АСЭ учитывает изменение во времени значения мощности нагрузки и является общим случаем. В частном случае нагрузка АСЭ не изменяется, т.е. является постоянной. К таким потребителям относятся сотовые станции, системы оперативного питания электрических станций и подстанций, светофоры и др. В этом случае выходная мощность автономной солнечной электростанции должна соответствовать суммарной мощности нагрузок.

Этап 2. Расчет емкости аккумуляторной батареи АСЭ. В ночное время суток накопленная в аккумуляторной батарее автономной солнечной электростанции энергия потребляется нагрузкой. Энергия (энергоемкость) аккумуляторной батареи определяется как произведение ее емкости на номинальное напряжение. Емкость показывает потенциал аккумуляторной батареи, т.е. сколько времени она сможет питать нагрузку, если будет полностью заряжен. Емкость измеряется в ампер-часах. По мере разряда напряжение и энергоемкость аккумуляторной батареи падают. Расход емкости ΔC аккумуляторной батареи АСЭ за время питания нагрузки $\Delta t_{\text{нв}}$ определяется как

$$\Delta C = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}\Delta t_{\text{нв}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}\left(24 - \Delta t_{\text{дв}}\right), \tag{4}$$

где $P_н$ – номинальная мощность нагрузки; $U_н$ – номинальное напряжение нагрузки; $\Delta t_{нв}$ – интервал ночного времени суток (в летнее время $\Delta t_{нв}$ = 10 ч, зимой – $\Delta t_{нв}$ = 16 ч); $\Delta t_{дв}$ – интервал дневного времени суток.

Глубокий разряд может вывести аккумулятор из строя. Поэтому производители аккумуляторов устанавливают конечное напряжение разряда, при достижении которого аккумулятор необходимо отключать от нагрузки и заряжать. Чтобы аккумулятор служил долго, его нельзя разряжать более чем на 70-80%. Степень разряженности аккумуляторной батареи АСЭ

$$S_р = \frac{C_н - C_{min}}{C_н} 100\% = \frac{\Delta C}{C_н} 100\% . \quad (5)$$

Выразив из (5) емкость $C_н$ с учетом (4) получаем выражение для определения требуемой емкости аккумуляторной батареи АСЭ в виде

$$C_н = \frac{100}{S_р} \frac{P_н}{U_н} \Delta t_{нв} . \quad (6)$$

Уравнение (6) позволяет легко рассчитать требуемую емкость аккумуляторной батареи АСЭ при постоянной нагрузке. Наиболее тяжелым режимом эксплуатации аккумуляторных батарей АСЭ является зимнее время, поэтому при расчетах по формуле (6) принимают $\Delta t_{нв}$ = 16 ч, а степень разряженности аккумуляторной батареи – $S_р$ = 70%.

Чем больше выходное напряжение АСЭ, тем меньше емкость, ток разряда $I_р = P_н/U_н$ аккумуляторной батареи и ниже ее цена. Для стационарных (промышленных) свинцовых аккумуляторов максимальный ток разряда ограничен значением, которое численно в амперах составляет от 5 до 25 емкостей аккумулятора. Чем меньше ток АСЭ, тем меньше омические потери мощности, выше КПД и, следовательно, ниже стоимость солнечной электростанции. Поэтому выгодно иметь электрические системы высокого напряжения. Причем, чем больше мощность электростанции, тем больше выигрыш высоковольтной системы по сравнению с низковольтной.

В прошлом почти во всех фотоэлектрических системах использовалось постоянное напряжение 12 В, поэтому широко применялись приборы на 12 В, питавшиеся прямо от батареи. С появлением эффективных и надежных инверторов все чаще в АСЭ используется напряжение 24, 48 В и выше. Так, автономные солнечные электростанции, производящие и потребляющие менее 1000-1500 Вт·ч в день, лучше всего сочетаются с напряжением в 12 В. АСЭ, производящие 1000-3000 Вт·ч в день, обычно используют напряжение 24 В, а АСЭ, производящие более 3000 Вт·ч в день, используют 48 В и выше.

Напряжение в системе – очень важный фактор, который влияет на параметры инвертора, средств управления, зарядного устройства и электропроводки. Однажды купив все эти компоненты, их трудно заменить. Некоторые компоненты системы, например, фотоэлектрические модули, можно переключить с 12 В на более высокое напряжение, другие – инвертор, проводка и средства контроля – предназначены для определенного напряжения и могут работать только в его рамках.

Аккумуляторная батарея АСЭ с емкостью $C_н$ набирается из отдельных серийно производимых аккумуляторных батарей небольшой емкости путем последовательного и параллельного их соединения. Последовательное соединение отдельных аккумуляторных батарей используется для увеличения напряжения, а емкость ветви аккумуляторной батареи при этом соответствует емкости отдельной аккумуляторной батареи. Получившаяся при параллельном соединении аккумуляторная батарея имеет то же напряжение, что и одиночная аккумуляторная батарея, а емкость такой аккумуляторной батареи равна сумме емкостей входящих в нее одиночных аккумуляторных батарей.

Энергоемкость аккумуляторной батареи автономной солнечной электростанции вычисляется как

$$W = C_н U_н . \quad (7)$$

Число последовательно включенных одиночных аккумуляторных батарей в ветви

$$n = U_{\text{н}} / U_{\text{аб}} , \tag{8}$$

где $U_{\text{аб}}$ – напряжение отдельной аккумуляторной батареи.

Число параллельных ветвей в аккумуляторной батарее АСЭ

$$m = C_{\text{н}} / C_{\text{аб}} , \tag{9}$$

где $C_{\text{аб}}$ – емкость отдельной аккумуляторной батареи.

Тогда общее число отдельных аккумуляторных батарей в аккумуляторной батарее АСЭ соответствует

$$N = nm. \tag{10}$$

Подставив в (10) уравнения (6)-(9), получаем соотношение для определения общего числа одиночных аккумуляторных батарей, входящих в аккумуляторную батарею АСЭ в виде:

$$N = \frac{100}{S_{\text{р}}} \frac{P_{\text{н}}}{W_{\text{аб}}} \Delta t_{\text{нв}} , \tag{11}$$

где $W_{\text{аб}} = C_{\text{аб}} U_{\text{аб}}$ – энергоемкость отдельной аккумуляторной батареи. Чем больше энергоемкость или емкость при заданном напряжении аккумулятора, тем меньше отдельных аккумуляторов потребуется в аккумуляторную батарею АСЭ. Выбрав аккумулятор заданной емкости из уравнений (6) и (9), можно составить выражение для определения напряжения аккумуляторной батареи АСЭ в виде

$$U_{\text{н}} = \frac{100}{S_{\text{р}}} \frac{P_{\text{н}}}{m C_{\text{аб}}} \Delta t_{\text{нв}} . \tag{12}$$

В общем случае нагрузка АСЭ непостоянная, т.е. изменяется во времени. Изменение нагрузки согласно табл. 2 на интервале ночного времени суток (с 16^{00} до 8^{00}) можно аппроксимировать графиком, представленным на рис. 1. Для упрощения графика нагрузка представлена двумя значениями $P_{\text{н1}} = 1863$ Вт и $P_{\text{н2}} = 600$ Вт на пяти интервалах времени. Объединяя представленные на графике (рис. 1) интервалы времени с одинаковыми значениями нагрузок, получаем двухступенчатый график изменения нагрузки (рис. 2, *а*). Интервалы времени Δt_1 и Δt_2, определенные как сумма интервалов времени с нагрузкой $P_{\text{н1}}$ и $P_{\text{н2}}$, соответственно, равны $\Delta t_1 = 1/3$ ч и $\Delta t_2 = 15 \cdot 2/3$ ч.

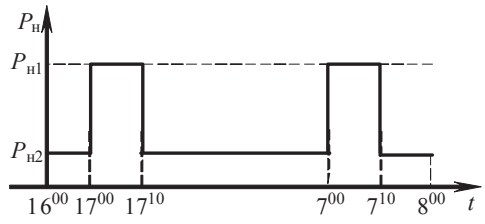


Рис. 1. Упрощенный график изменения нагрузки

График изменения емкости аккумуляторной батареи автономной солнечной электростанции при двухступенчатой нагрузке представлен на рис. 2, *б*. На первом интервале времени расход емкости аккумуляторной батареи определяется как

$$\Delta C_1 = \frac{P_{\text{н1}}}{U_{\text{н}}} \Delta t_1 , \tag{13}$$

а на втором –

$$\Delta C_2 = \frac{P_{\text{н2}}}{U_{\text{н}}} \Delta t_2 . \tag{14}$$

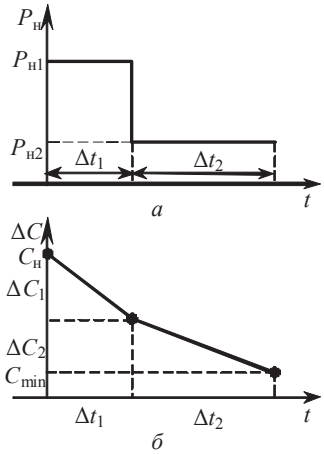


Рис. 2. Графики изменения нагрузки (*а*) и ёмкости АБ (*б*)

Учитывая, что $\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2$, из (5), (13) и (14) получаем выражение для определения требуемой емкости аккумуляторной батареи автономной солнечной электростанции в виде

$$C_{\text{н}} = \frac{100}{S_{\text{р}} U_{\text{н}}} \left(P_{\text{н1}} \Delta t_1 + P_{\text{н2}} \Delta t_2 \right). \quad (15)$$

Очевидно, что расчет по уравнению (15) дает завышенную требуемую емкость аккумуляторной батареи. Для более точного определения требуемой емкости необходимо как можно точнее учесть изменение графика нагрузки на интервале ночного времени суток.

Этап 3. Расчет мощности зарядного устройства АСЭ. Зарядка аккумулятора – процесс обратный разрядке аккумулятора – во время зарядки, аккумулятор запасает энергию, питаясь от внешнего источника тока или солнечной батареи. После полной зарядки аккумулятор накапливает заряд, равной емкости аккумулятора.

В практике эксплуатации аккумуляторных батарей пользуются, как правило, одним из двух методов заряда батареи: заряд при постоянстве тока или заряд при постоянстве напряжения. Оба эти метода равноценны с точки зрения их влияния на долговечность батареи.

Заряд при постоянстве тока производится током, значение которого равно 10% от номинальной емкости при 20-часовом режиме разряда. Для большинства стационарных свинцовых аккумуляторов этот ток написан на его корпусе. Максимальное значение зарядного тока составляет от 0,2 до 0,3 емкости аккумулятора. Для поддержания постоянства тока в течение всего процесса заряда необходимо регулирующее устройство. Недостаток такого способа заряда – необходимость постоянного контроля и регулирования зарядного тока, а также обильное газовыделение в конце заряда. Для снижения газовыделения и повышения степени заряженности батареи целесообразно ступенчатое снижение силы тока по мере увеличения зарядного напряжения. Когда напряжение достигнет 14,4 В, зарядный ток уменьшают в два раза и при таком токе продолжают заряд до начала газовыделения. При заряде батарей, которые не имеют отверстий для доливки воды, целесообразно при увеличении зарядного напряжения до 15 В еще раз уменьшить ток в два раза. Батарея считается полностью заряженной, когда ток и напряжение при заряде сохраняются без изменения в течение одного-двух часов. Для современных необслуживаемых батарей такое состояние наступает при напряжении 16,3-16,4 В.

Температура электролита во время заряда батарей возрастает, поэтому необходимо контролировать ее значение, особенно к концу заряда. Если к концу заряда плотность электролита отличается от нормы, необходимо произвести корректировку доливкой дистиллированной воды в случаях, когда плотность выше нормы, или доливкой раствора серной кислоты плотностью 1,4 г/см^3, когда она ниже нормы.

При заряде при постоянстве напряжения степень заряженности аккумуляторной батареи по окончании заряда напрямую зависит от значения зарядного напряжения. Так, например, за 24 ч непрерывного заряда при напряжении 14,4 В полностью разряженная 12-вольтовая батарея зарядится на 75-85%. При напряжении 15 В – на 85-90%, а при напряжении 16 В – на 95-97%. Полностью зарядить разряженную батарею в течение 20-24 ч можно при напряжении зарядного устройства 16,3-16,4 В. В первый момент включения зарядного устройства ток может достигать 40-50 А и более. Поэтому зарядное устройство должно снабжаться схемными решениями, ограничивающими максимальный ток заряда.

Для полного заряда аккумуляторных батарей в сокращенное время применяется ускоренный комбинированный способ заряда, заключающийся в заряде в два этапа. На первом этапе заряд осуществляется постоянным током до достижения напряжения 14,5 В, на втором этапе – при постоянном напряжении 13,8 В. Иногда этот метод быстрой зарядки называют заряд методом I-U (ток-напряжение). Метод позволяет полностью зарядить свинцовый аккумулятор примерно за шесть часов при начальном токе заряда 20% от ем-

кости. Быстрый заряд чаще применяется при эксплуатации аккумуляторов в циклическом режиме, т.е. в АСЭ.

Исходя из вышесказанного, следует, что для заряда 12-вольтового аккумулятора ($U_{аб} = 12$ В) необходимо иметь максимальный ток заряда $I_{max,зар} = 0{,}2$ С/1 ч и максимальное выходное напряжение зарядного устройства $U_{max,зар} = 16{,}5$ В. В общем случае аккумуляторная батарея автономной солнечной электростанции состоит из n последовательно включенных одиночных аккумуляторных батарей. В этом случае выходная мощность зарядного устройства равняется:

$$P_{зу} = nI_{max,зар}U_{max,зар} = 1{,}375nI_{max,зар}U_{аб}. \quad (16)$$

Зарядка свинцовых аккумуляторов, соединенных последовательно, представляет опасность. При зарядке соединенных последовательно аккумуляторов с разными емкостями их параметры (энергоемкость, напряжение) все больше и больше расходятся, т.е. «разбегаются». Поэтому на практике широко применяют зарядку отдельных аккумуляторов от индивидуальных зарядных устройств. Для отдельного заряда аккумуляторных батарей потребуется n зарядных устройств в n раз меньшей мощности.

Этап 4. Расчет мощности основной шины АСЭ. Все потребители электроэнергии и зарядное устройство аккумуляторной батареи автономной солнечной электростанции питаются через основную шину. Для правильного выбора сечения основной шины и определения мощности солнечных батарей АСЭ необходимо знать пропускную мощность основной шины. Пропускная мощность основной шины АСЭ определяется как сумма мощностей нагрузки и заряда аккумуляторной батареи:

$$P_{ош} = P_{н} + P_{зу}/\eta_2, \quad (17)$$

где $P_{н}$ – мощность нагрузки АСЭ; $P_{зу}$ – мощность зарядного устройства АСЭ; η_2 – КПД зарядного устройства АСЭ.

Этап 5. Расчет мощности солнечных батарей АСЭ. Расчет мощности солнечных батарей необходим для правильного их выбора и обеспечения необходимым количеством электроэнергии автономной солнечной электростанции. Требуемая мощность солнечной батареи определяется соотношением

$$P_{сб} = P_{ош}/\eta_1 = P_{н}/\eta_1 + P_{зу}/\eta_1\eta_2, \quad (18)$$

где η_1 – КПД импульсного преобразователя постоянного напряжения понижающего типа.

Количество вырабатываемой электроэнергии солнечной батареей зависит от погодных условий. Для учета этого фактора необходимо определить количество солнечной энергии, на которое можно рассчитывать в данной местности. Обычно эти данные можно получить у местного поставщика солнечных батарей или на гидрометеостанции. При этом важно учитывать два фактора: среднегодовую солнечную радиацию, а также ее среднемесячные значения при наихудших погодных условиях.

С помощью первого фактора фотоэлектрическую систему можно рассчитать в соответствии со среднегодовой солнечной радиацией, т.е. в некоторые месяцы будет больше энергии, чем требуется, а в другие – меньше. При выборе второго фактора всегда будет, как минимум, достаточно энергии для удовлетворения потребностей, если исключить чрезвычайно продолжительные периоды плохой погоды.

Теперь можно подсчитать номинальную мощность фотоэлектрического модуля.

Взяв из таблиц значение солнечной радиации за интересующий нас период и разделив его на 1000, получим так называемое количество пикочасов, т.е. условное время, в течение которого солнце светит как бы с интенсивностью 1000 Вт/м2.

Модуль мощностью Pw в течение выбранного периода выработает следующее количество энергии:

$$W = k\,E\,Pw / 1000,$$

где E – значение инсоляции за выбранный период; k – коэффициент, равный 0,5 и 0,7 в летний и зимний периоды, соответственно. Он делает поправку на потерю мощно-

сти солнечных элементов при нагреве на солнце, а также учитывает наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение дня. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

Исходя из суммарной мощности потребляемой энергии и приведенной выше формулы, легко рассчитать суммарную мощность модулей, простым делением ее на мощность одного модуля получим количество модулей.

Используя фотоэлектрические модули разной мощности, можно построить солнечную батарею с необходимой нам установленной мощностью. При этом возможны два варианта: либо недостаточная, либо избыточная мощность солнечных батарей. В первом случае солнечная батарея не сможет удовлетворить общую потребность в энергии. Во втором случае у вас будет избыток электроэнергии [3].

Этап 6. Расчет КПД АСЭ. Оценка эффективности работы автономной солнечной электростанции определяется коэффициентом полезного действия. КПД АСЭ определяется соотношением

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{сб}}} = \frac{P_{\text{н}}\eta_1\eta_2}{P_{\text{н}}\eta_2 + P_{\text{зу}}}. \qquad (19)$$

Этап 7. Выбор автономных инверторов напряжения АСЭ. При выборе инвертора необходимо посчитать всю суммарную нагрузку приборов, подключаемых к инвертору, и увеличить, как минимум, на 30% полученную мощность. Выбранный на эту мощность инвертор позволит запускать такие электроприборы, как компрессорный холодильник, насосы и др., с пусковыми мощностями, в 3-4 раза превышающими паспортный.

В рассматриваемом случае автономный инвертор напряжения последовательно питает электрический чайник и СВЧ-печь через одну розетку. Причем мощность СВЧ-печи больше мощности электрического чайника. Поэтому мощность инвертора составляет 1950 Вт и определяется путем увеличения на 30% мощности СВЧ-печи, пересчитанной на основную шину.

Выводы. 1. Разработана методика расчета мощности автономных солнечных электростанций и ее элементов, позволяющая учитывать изменение нагрузки в течение суток.

2. Учет изменения графика нагрузки на интервале ночного времени суток позволяет точно определить требуемую емкость аккумуляторной батареи.

3. Выражение для определения требуемой емкости аккумуляторной батареи автономной солнечной электростанции может быть без труда обобщено для любого числа изменений ступенек графика нагрузки.

4. Разработанная методика расчета мощности автономных солнечных электростанций позволяет исключить неоправданное завышение мощности элементов электростанции и удорожание автономной солнечной электростанции.

Литература

1. *Аронова Е.С., Охоткин Г.П., Теруков Е.И., Шварц М.З.* Особенности работы тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния в составе электростанции на широте г. Чебоксары // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. С. 222-224.

2. *Охоткин Г.П., Серебрянников А.В.* Основные принципы построения автономных солнечных электростанций [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: http:// www.science-education.ru/106-7345 (дата обращения: 09.11.2012).

3. Солнечная инсоляция – справочные таблицы [Электронный ресурс]. // Альтернативная энергетика: сайт URL: http://alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/312-solnechnaya-insolyaciya.html (дата обращения: 27.10.2012).

ОХОТКИН ГРИГОРИЙ ПЕТРОВИЧ – доктор технических наук, профессор, декан факультета радиотехники и электроники, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (elius@list.ru).

OKHOTKIN GRIGORIY PETROVICH – doctor of technical sciences, professor, dean of Radio Engineering and Electronics Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (elius@list.ru).

УДК 620.92:620.97:620.4
ББК 363

Г.П. ОХОТКИН

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА LabVIEW

Ключевые слова: *солнечный модуль; солнечная электростанция; импульсный преобразователь постоянного напряжения; автономный инвертор напряжения, программирование, LabVIEW.*

Разработаны виртуальные приборы (калькуляторы) для расчета мощности автономных солнечных электростанций и ее элементов.

G.P. OKHOTKIN

THE POWER CALCULATION OF SOLAR POWER FOR LabVIEW

Key words: *solar module, solar power station; pulse Converter DC voltage; Autonomous inverter voltage, programming, LabVIEW.*

Developed virtual instrument (calculators) to calculate the power of the Autonomous solar power and its elements.

Электронные вычислительные машины (ЭВМ) позволяют значительно сократить сроки проектирования солнечных электростанций. Современный этап применения ЭВМ для проектирования солнечных электростанций характеризуется широким привлечением универсальных программных систем, обладающих богатым набором библиотек элементов, способствующих значительному повышению эффективности проектирования, снижению расходов на макетирование и натурный эксперимент.

Следовательно, для повышения эффективности проектирования солнечных электростанций необходимо разрабатывать точные их математические модели и специальные программные комплексы, позволяющие ускорить сроки проектирования. Вопросы автоматизированного проектирования солнечных электростанций в доступной литературе освещены недостаточно полно, поэтому разработка программ для расчета мощности солнечных электростанций и ее элементов является актуальной задачей.

Целью данного исследования является разработка программ для расчета мощности автономных солнечных электростанций и ее элементов на LabVIEW.

Предложенная в работе [2] методика расчета мощности автономных солнечных электростанций предусматривает пересчет мощностей нагрузок на основную шину питания электростанций, определение энергопотребления нагрузок за сутки и составление графика изменения нагрузки за сутки для установления требуемой емкости аккумуляторной батареи солнечной электростанции и количества отдельных аккумуляторных батарей, производимых промышленностью. Затем предполагается определение мощностей зарядного устройства, инверторов, основной шины питания и солнечных модулей.

С помощью полученных в [2] соотношений разработана программа для расчета мощности автономных солнечных электростанций на основе LabVIEW, использующей язык графического программирования. Блочно-модульный принцип программирования, используемый LabVIEW, позволяет автономно отладить работу модулей – элементов солнечной электростанции и ускорить процесс разработки программы.

Разработанная программа представлена в виде двух виртуальных приборов (калькуляторов), работающих независимо друг от друга. Первый прибор позволяет автоматически пересчитывать мощности нагрузок на основную шину питания электростанции и определять энергопотребления нагрузок за сутки.

Лицевая панель первого калькулятора представлена на рис. 1. Прибор содержит окна для задания мощностей нагрузок, КПД инверторов и импульсных преобразователей постоянного напряжения и времен работы электроприборов. Для вывода результатов расчета предусмотрены окна мощностей нагрузок на основной шине и энергопотребления за сутки. Кроме того, на лицевой панели прибора расположены окна суммарных мощностей нагрузок и энергопотребления.

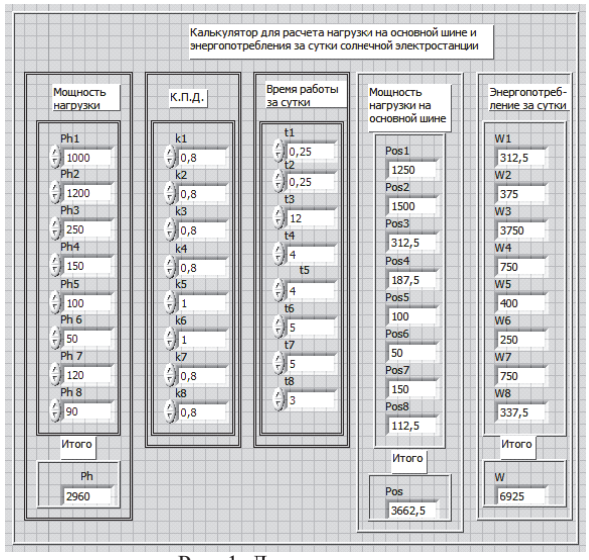


Рис. 1. Лицевая панель
первого калькулятора

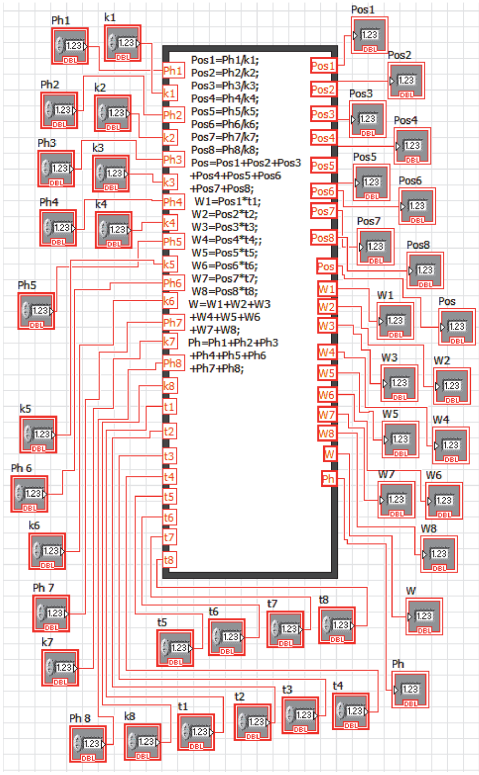


Рис. 2. Структурная схема
алгоритма работы
первого калькулятора

Структурная схема калькулятора разработана на основе узла «Формула» (рис. 2) и обладает достаточно малой трудоемкостью и высокой наглядностью. Программа имеет небольшие затраты машинного времени при расчетах.

Второй виртуальный прибор (калькулятор) служит для определения требуемой емкости аккумуляторной батареи солнечной электростанции и количества отдельных аккумуляторных батарей, а также для определения мощностей зарядного устройства, инверторов, основной шины питания, солнечных модулей и КПД солнечной электростанции.

Лицевая панель второго калькулятора представлена на рис. 3, а структурная схема – на рис. 4. На лицевой панели прибора имеются окна для задания максимальных мощностей нагрузок и интервалов их включения, степени разряженности и напряжения аккумуляторной батареи, выходного напряжения солнечной электростанции и окна расчетных значений параметров электростанции. Структурная схема второго калькулятора разработана также на основе узла «Формула». Калькулятор обладает небольшими затратами машинного времени при расчетах.

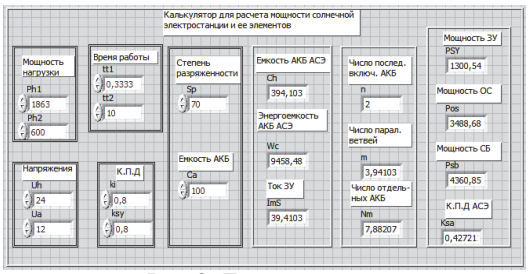


Рис. 3. Лицевая панель второго калькулятора

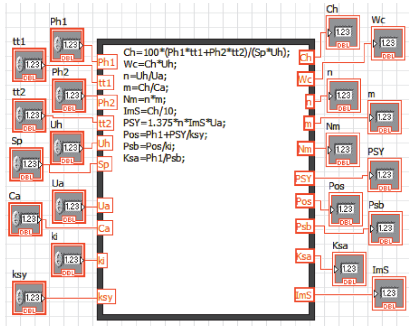


Рис. 4. Структурная схема алгоритма работы второго калькулятора

Выводы. 1. Разработанные калькуляторы обладают достаточно высокой наглядностью, удобством при использовании, небольшим объемом требуемой памяти и затратой машинного времени при расчетах.

2. Первый калькулятор позволяет пересчитать мощности нагрузок на основную шину питания электростанции и определять энергопотребление нагрузок за сутки, а второй – служит для определения требуемой емкости и количества аккумуляторных батарей, мощностей зарядного устройства, инверторов, основной шины питания, солнечных модулей и КПД солнечной электростанции.

Литература

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / под ред. П.А. Бутырина. М.: ДМК Пресс, 2005. 264 с.

2. *Охоткин Г.П.* Методика расчета мощности солнечных электростанций // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 223-231.

3. Тревис Дж. LabVIEW для всех. М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2004. 544 с.

ОХОТКИН ГРИГОРИЙ ПЕТРОВИЧ. См. с. 230.

УДК 005.342:620.9
ББК У305.142-551-21

О.В. ФЕДОРОВ, Н.В. ГОЛУБЦОВ, Л.Г. ЕФРЕМОВ

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ЭНЕРГОКОМПАНИЯХ

Ключевые слова: *формирование, инновационный менеджмент, энергокомпания.*

Источники возникновения организационно-управленческих инноваций; факторы, сдерживающие внедрение управленческих инноваций в энергокомпаниях.

O.V. FYODOROV, N.V. GOLUBTZOV, L.G. EFREMOV

CREATION OF INNOVATIVE MANAGEMENT SYSTEM IN ENERGY COMPANIES

Key words: *creation, innovative management, energy company.*

Sources of initiation of organizational managerial innovations; factors sustaining managerial innovations implementation in energy companies.

С позиций инновационного менеджмента можно утверждать, что в будущем эффективной станет не та организация, которая хорошо работает сегодня, а та, которая ориентирована на постоянное обновление, на инновации. Всё более возрастаю-

щая значимость инновационной деятельности как признанного основного и определяющего фактора экономического и социального развития энергетики в целом и отдельных энергетических компаний в частности делает актуальной развитие системы управления инновациями. Направление управленческой деятельности, рассматривающее в качестве объекта управления инновации и процессы их создания и внедрения – инновационные процессы, относится к специальному менеджменту, называемому «инновационный менеджмент».

В энергетических компаниях в настоящее время формируются и начинают активно использоваться системы инновационного менеджмента в качестве одной из функциональных систем управления. Эта система предназначена обеспечить реализацию инновационной стратегии и политики посредством управления инновациями и процессами их создания.

При формировании системы инновационного менеджмента в электроэнергетических компаниях целесообразно применить подходы и принципы менеджмента, неоднократно апробированные и положенные в основу таких международных стандартов, как ISO 9001:2000, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007, PAS 55, или на интегрированный в международную систему стандартов ISO отечественный стандарт ГОСТ Р ИСО 9001:2001 – Системы менеджмента качества. Требования.

С целью определение условий и механизмов повышения эффективности деятельности энергокомпаний за счет совершенствования инновационной деятельности в соответствии с Приказом ОАО РАО «ЕЭС России» № 396 от 08.06.2007 г. в 2008 г. разработана *«Концепция развития инновационной деятельности в электроэнергетике»* [1]. Концепцией предусматривается возможность достижения названной цели по следующим основным направлениям: 1) рост производственной эффективности – за счет внедрения приобретенных или разработанных производственно-технических и организационно-управленческих инноваций; 2) получение дополнительных доходов за счет коммерческого использования принадлежащих компаниям прав на результаты интеллектуальной деятельности; 3) рост капитализации – в том числе за счет эффектов от внедрения инноваций и учета прав на результаты интеллектуальной деятельности в качестве нематериальных активов (НМА).

Для каждого из перечисленных выше направлений в Концепции рассмотрена своя схема реализации.

Согласно этой Концепции развитие инновационной деятельности позволяет обеспечить:

для компаний электроэнергетики:

– новый уровень организации производства;
– снижение издержек;
– повышение конкурентоспособности;
– повышение уровней надежности и безопасности;
– улучшение защиты окружающей среды;

для научно-проектного комплекса:

– возможность реализации накопленных идей и разработок;
– улучшение взаимодействия с бизнес-сообществом при ориентации на реальные потребности экономики;
– возможность формирования портфеля заказов, подкрепленного платежеспособным спросом;
– повышение экономической отдачи от основной деятельности;

для малого и среднего бизнеса:

– возможность найти на рынке подготовленные к реализации идеи, позволяющие развивать бизнес;
– возможность коммерциализации собственных идей, превращения в активы интеллектуального и творческого потенциалов;

для финансовых институтов:

– появление новых высокодоходных направлений для инвестиций;

– новые возможности взаимодействия финансовых институтов с реальным сектором экономики;

для государства:

– включение в активный оборот интеллектуального потенциала, его превращение в интеллектуальный капитал;

– стабилизацию тарифов на электроэнергию и тепло, снятие социальной напряженности, создание новых рабочих мест, улучшение экологической ситуации, повышение качества жизни населения, повышение энергетической безопасности страны.

В Концепции проанализирована практика использования результатов интеллектуальной деятельности (РИД) и коммерциализации прав на них в рамках управления инновационным процессом в электроэнергетической отрасли, исследованы сильные и слабые стороны инновационной деятельности. Выявлены следующие основные риски, связанные с ведением инновационной деятельности в электроэнергетике:

– возможность присвоения неохраняемых должным образом РИД третьими лицами с последующим предъявлением требований платы за использования прав на эти РИД;

– возможность возникновения негативных налоговых последствий из-за разночтений в законодательстве о бухгалтерском учёте и налоговом законодательстве;

– возможность замедления темпов реформы электроэнергетики в связи с необходимостью переоценки активов (с учётом стоимости нематериальных активов);

– возможная невостребованность созданных ранее РИД в условиях реформирования электроэнергетики с учётом структурных изменений и смены собственников.

По результатам исследования инновационной деятельности в 5 энергокомпаниях (ОАО «Гидро ОГК», ОАО «ЭНИН», ОАО «МРСК Центра», ОАО «НТЦ электроэнергетики», ОАО «ОГК-4») авторы Концепции установили, что в наибольшей степени на предприятиях востребованы организационно-управленческие (управление персоналом, риск-менеджмент и т.п.) инновации (в 60% случаев), в меньшей – финансово-экономические (ценообразование, система материальных стимулов, система оплаты труда и т.п.), и количественно оценка составила 40% случаев.

Необходимость разработки и внедрения организационно-управленческих инноваций на предприятиях электроэнергетической отрасли обусловлена: сложностями и рисками обеспечения эффективности и конкурентоспособности бизнеса (50% случаев); новыми стратегическими целями и задачами компании (33% случаев); возникновением сложной проблемы управления, требующей новаторского подхода к ее решению (17% случаев).

На рис. 1 показано соотношение источников возникновения организационно-управленческих инноваций в энергокомпаниях. Диаграмма построена авторами по данным названных выше энергокомпаний и по расчетам ЗАО «РОСЭКО».

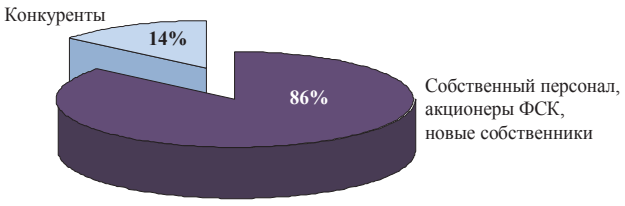


Рис. 1. Источники возникновения
организационно-управленческих инноваций в энергокомпаниях

Основными сферами деятельности энергокомпаний, в которые внедряются организационно-управленческие инновации, в последнее время стали: организационная структура энергокомпании; организация и разделение управленческого труда; финансы, маркетинга, PR, HR; методы и процедуры (регламенты) управления.

На рис. 2 отображены факторы, препятствующие или сдерживающие внедрение управленческих инноваций в энергокомпаниях.

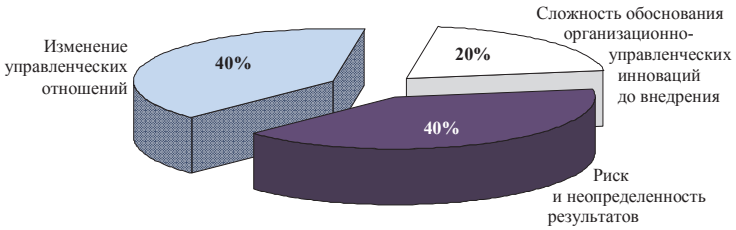


Рис. 2. Факторы, сдерживающие внедрение управленческих инноваций в энергокомпаниях

В Концепции [1] утверждается, что энергокомпании испытывают также высокую потребность во внедрении технологических инноваций. В составе основных проблемных технических задач энергокомпаний, для решения которых наиболее велика потребность в технологических инновациях, выделяются следующие: применение альтернативных источников энергии (использование энергии ветра, приливной энергии); работа сетей среднего напряжения в различных режимах заземления нейтрали; повышение пропускной способности ВЛ 10-110 кВ путем применения новых типов провода, компенсации реактивной мощности; реконструкция ВЛ с увеличением пропускной способности без замены опор; повышение грозоупорности линий с применением линейных ОПН; повышение грозоупорности подстанций 35-110 кВ с использованием комплексного подхода глубокой грозозащиты; применение устройств стабилизации напряжения в сетях 0,4-10 кВ для групповых потребителей мощностью до 100 кВА; проблемы дальнего резервирования защит ВЛ 110 кВ; проблема перевода ряда ГРЭС на сжигание увеличенных объёмов твёрдого топлива с минимальными затратами.

Основные источники возникновения технологических инноваций в энергокомпаниях, по данным, представленным в [1], показаны на рис. 3.

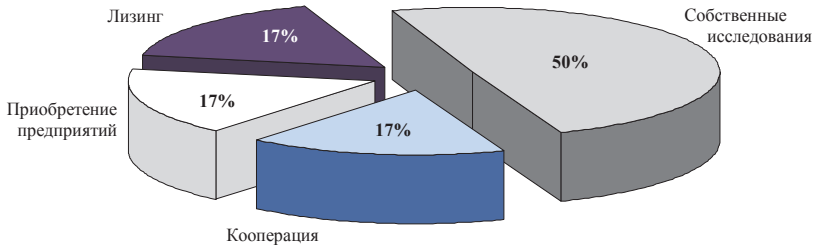


Рис. 3. Основные источники возникновении технологических инноваций в энергокомпаниях

Отмечается что работа по инициированию технологических инноваций в энергокомпаниях организована следующим образом [2]: в 40% случаев решения принимаются по мере необходимости как следствие возникающих внутренних проблем, технологические инновации не планируются и не прогнозируются; в 40% случаев решения принимаются на основе анализа опыта других компаний, возможные технологические инновации планируются, но конкретно не прогнозируются; только в 20%

случаев решения принимает координирующий орган на основе плана (программы) организационного развития, технологические инновации носят плановый характер.

В качестве источника инноваций для производственных компании можно рассматривать наукоемкие компании. При отнесении компании к наукоемкой целесообразно учитывать критерии наукоемкости, традиционно применяемые к отраслям. По данным [3], ссылающимся на применяемую в ОЭСР классификацию, те отрасли, в продукции которых доля затрат на исследования и разработки составляет не менее 4,5-5%, относят к высокотехнологичным, а отрасли с долей свыше 10% – к высоконаукоёмким (ВНО). Классификация ОЭСР основана на сложившейся структуре высокотехнологичных отраслей развитых стран.

Примером наукоемкой компании может служить ОАО «ЭНИН». По данным, приведенным в [1], это предприятие относится к отрасли электроэнергетики. Основные виды деятельности – научно-исследовательская, опытно-конструкторская, проектная и иные виды деятельности в области электроэнергетики, а также другая деятельность, направленная на повышение надежности и экономичности выработки, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Компания является наукоемкой, демонстрирует положительные результаты от финансово-хозяйственной деятельности.

На балансе организации в соответствии с РСБУ (Российские стандарты бухгалтерского учёта) по итогам последнего финансового года отсутствуют нематериальные активы.

В то же время организация смогла предоставить информацию по зарегистрированным объектам интеллектуальной собственности (ОИС), потенциально возможным к коммерциализации. Все патенты являются действующими.

Очевидно, что применение зарегистрированного ОИС в технологическом процессе должно приносить определенную выгоду своему владельцу в сравнении с технологическим процессом без применения данного ОИС. В противном случае ОИС можно рассматривать как коммерчески не успешный.

Средний размер доли в дополнительном доходе, получаемом за счет применения того или иного ОИС из состава пакета, представленного ОАО «ЭНИН», составляет 13,1%. Диапазон долей в дополнительном доходе, получаемом за счет применения того или иного ОИС в зависимости от степени его научного потенциала составляет от 2,4% до 39,6%. Детальная информация относительно распределения размеров долей от использования ОИС представлена на рис. 4, составленном авторами [1] со ссылками на данные ОАО «ЭНИН» и расчеты ЗАО «РОСЭКО».

Принадлежность ОИС к различным сферам электроэнергетики свидетельствует о значительном научном потенциале организации.

С целью оказания содействия энергокомпаниям при создании, обеспечении функционирования и развития системы управления инновационной деятельностью Институтом комплексных исследований в энергетике по заказу некоммерческого партнерства «Инновации и электроэнергетике» (НП «ИНВЭЛ») разработаны и выпущены и 2009 г. в качестве официального документа *Методические рекомендации по созданию в энергетических компаниях систем управлении инновационной деятельностью* [4].

В качестве методологической основы для создания системы управления инновационной деятельностью в Методических рекомендациях [4] предложено применение процессного и системного подходов, а также использование цикла «PDCA», что дает возможность обеспечить интеграцию этих систем с системой менеджмента качества (СМК), системой экологического менеджмента (СЭМ) и системой менеджмента профессиональной безопасности и охраны труда (СМПБиОТ) и другими подобными системами менеджмента, внедряемыми в энергокомпаниях.

Использование метода «PDCA» обосновано тем, что любая деятельность может быть представлена как такая последовательность действий: «Plan–Do–Check–Act» в виде цикла, который описывается следующим образом:

– *планирование* (*Plan*): разработка целей, инновационных программ и процессов, необходимых для достижения целевых показатели эффективности;

– *организация* (*Do*): внедрение процессов целей и создание соответствующей функциональной структуры;

– *проверка* (*Check*): постоянный контроль и измерение эффективности инновационной деятельности в сравнении со значениями целевых показателей эффективности и представление результатов руководству компании для анализа и оценки;

– *действие* (*Act*): разработка и реализация действий по постоянному улучшению показателей процессов и инновационной деятельности.

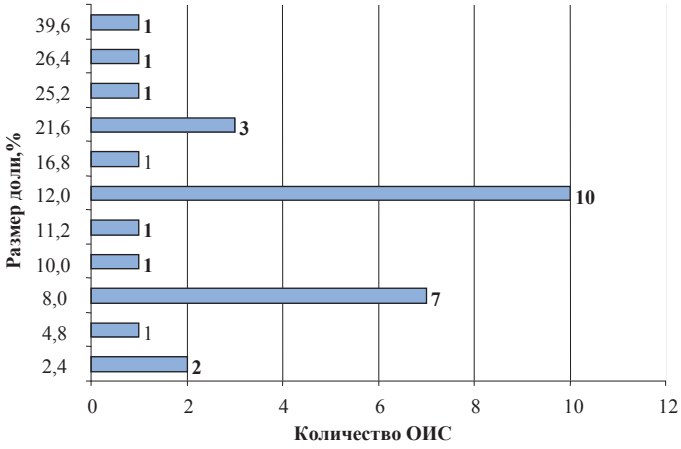


Рис. 4. Структура распределения долей в дополнительном доходе от использования ОИС ОАО «ЭНИН»

В управлении инновационной деятельностью в энергокомпании на основе цикла «PDCA» может осуществляться управление инновационной стратегией, инновационным портфелем и инновационным проектом [5].

В работе [4] приведены также принципы организации инновационной деятельности и управления ею, основанные на использовании процессного и системного подходов, описана модель, структура, а также сформулированы основные требования к системе управления; даны рекомендации по идентификации основных элементов и процессов инновационной деятельности. Модель системы управления инновационной деятельностью, предложенная в работе, включает три уровня – управление инновационным развитием; управление инновационным процессом и управление инновационным проектом. Это связано с необходимостью решения различных управленческих задач на каждом из уровней, а также применения для их решения специальных инструментов и методов. Основные положения технологии реализации инновационной деятельности на основе процессного и системного подходов изложены в [4].

В целом система инновационного менеджмента направлена на решение следующих общих управленческих задач в рамках реализации функций управления: обеспечение систематичности управления инновационной деятельностью; прогнозирование и планирование направлений развития внешней и внутренней среды электроэнергетической компании; формирование процедур и правил осуществления инновационной деятельности; организация и координация работ в процессе управления инновационной деятельностью; активизация и стимулирование инновационной деятельности; контроль, анализ и улучшение результативности и эффективности инновационной деятельности.

В качестве специфических задач системы инновационного менеджмента электроэнергетических компаний можно назвать:

– исследование энергетического рынка и внешней среды (изучение и регулирование спроса, конкурентов, поставщиков, посредников, работа с потребителями, органами государственной власти, формирование тарифной политики);

– прогнозирование состояния рынка, развития технологий, изменений факторов внешней среды и т.д.;

– планирование инноваций и их ранжирование по направлениям деятельности, срокам реализации, стратегической и операционной направленности и т.д.;

– анализ рисков, определение методов минимизации возможных потерь и управления рисками, включая страхование;

– управление инновационными проектами, включая прогнозирование, планирование, бюджетирование, мониторинг, контроль, мотивацию, учет и анализ и т.д.;

– исследование рынков ресурсов и нахождение подрядчиков;

– осуществление комплексного анализа затрат, цен, объемов производства, продажных цен (тарифов) и т.д.;

– оценка эффективности инноваций и др.

Для управления технической политикой, координации работ по разработке и организации внедрения новой техники и технологий, направленных на повышение эффективности функционирования электросетевого комплекса, снижения издержек его эксплуатации и повышения надежности работы ЕНЭС в соответствии с «Положением о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»» создается Координационный научно-технический совет ОАО «ФСК ЕЭС» [6]. Он является постоянно действующим совещательным органом ОАО «ФСК ЕЭС».

Координационный научно-технический совет осуществляет:

– организационно-методическое руководство разработкой и внесением новой техники и технологий;

– разработку предложений по совершенствованию состава работ по созданию и внедрению новой техники и технологий, по конечным и промежуточным работам, срокам их достижения, исполнителям конкретных работ, перечню научных проблем, выделяя приоритетные направления и задания;

– экспертизу предложений по разработке и внедрению новой техники и технологий, представленных на координационный научно-технический совет;

– анализ выполнения работ по разработке новой техники и технологий и подготовку соответствующих заключений и предложений;

– подготовку предложений об открытии новых, наиболее важных для ОАО «ФСК ЕЭС» работ по разработке новой техники и технологий и о прекращении действия договоров по работам, потерявшим свое значение для компании.

В дополнение к *Положению о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»* [6] разработано *Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе* [7], которое определяет совокупность управленческих, технических и организационных мероприятий на ближайшую и долгосрочную перспективу, направленных на повышение эффективности, технического уровня, надежности и безопасности распределительных электрических сетей на основе апробированных при эксплуатации, научно обоснованных технических решений и технологий. Срок действия Положения: до 2015 г. Положение подлежит корректировке 1 раз в 2 года.

Определяя основные направления и содержание технической политики на уровне ФСК ЕЭС [6] и на уровне распределительных электрических сетей [7], оба названных выше Положения содержат показатели прогрессивности технических решений и технологий. Эти показатели условно делятся на: функциональные и технологические; экономические; экологические, безопасности.

Управление инновационным проектом должно осуществляться на всех этапах – от теоретической идеи через научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы до изготовления первых образцов и организации серийного производства. Названные этапы характерны и для обычной разработки или обычного инвестиционного проекта, не имеющего инновационных признаков.

Литература

1. Концепция развития инновационной деятельности в электроэнергетике (Разработка в соответствии с Приказом ОАО РАО «ЕЭС России» № 396 от 08.06.2007 г.) – М., 2008.

2. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (2030 г.): концептуальные подходы, направления, прогнозные оценки и условия реализации. М.: РАН, 2008.

3. Национальная инновационная система и государственная инновационная политика Российской Федерации: базовый доклад к обзору СЭСР национальной инновационной системы Российской Федерации / Минобрнауки РФ. М., 2009.

4. Методические рекомендации по созданию в энергетических компаниях систем управления инновационной деятельностью. М.: Ин-т комплексных исследований в энергетике, 2009.

5. ISO 9000:2005 «Система менеджмента качества – Основные положения и словарь»: перевод // Группа компаний «ИНТЕРСЕРТИФИКА»: сайт. URL: http://www.icgrp.ru.

6. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»: прил. 4 к протоколу Совета директоров ОАО «ФСК ЕЭС» от 02.06.2006 г. № 34. М.: ФСК ЕЭС, 2006.

7. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе: прил. 1 к протоколу заседания Правления ОАО РАО «ЕЭС России» от 24.04.2006 г. № 1504 пр/1. М.: ФСК ЕЭС, 2006.

ФЕДОРОВ ОЛЕГ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры управления инновационной деятельностью, Нижегородский государственный технический университет, Россия, Нижний Новгород (fov52@nm.ru).

FEDOROV OLEG VASILYEVICH – doctor of technical sciences, professor of Management Innovation Chair, Nizhny Novgorod State Technical University, Russia, Nizhny Novgorod.

ГОЛУБЦОВ НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения, Нижегородский военный институт инженерных войск, Россия, Нижний Новгород (nvg4@ya.ru).

GOLUBTSOV NIKOLAY VLADIMIROVICH – candidate of technical sciences, associate professor of Electricity Chair, Nizhny Novgorod Military Institute of Engineers, Russia, Nizhny Novgorod.

ЕФРЕМОВ ЛЕОНИД ГЕОРГИЕВИЧ. См. с. 217.

УДК 621.313
ББК 31.291

В.А. ЧИХНЯЕВ, Д.И. АХМЕТЗЯНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: *вентильно-индукторный двигатель, алгоритм управления, модель, угол управления.*

Рассмотрены различные алгоритмы управления фазами вентильно-индукторного двигателя (ВИД). С помощью математической модели ВИД получены результаты исследования работы двигателя при трех алгоритмах управления. Определены наиболее благоприятные углы коммутации ВИД.

V.A. CHIHNYAEV, D.I. AKHMETZYANOV

INVESTIGATION OF ELECTROMECHANICAL CHARACTERISTIC OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Key words: *switched-reluctance motor, control algorithm, prototype, control angle.*

There is considered various control algorithms of phases for switched-reluctance motor. With the help of mathematical prototype switched-reluctance motor (SRM), gives the results of motor operation for three control algorithms. There is analyzed for determine the most opportune commutation angles of SRM.

Одним из наиболее динамично развивающихся типов электромеханических преобразователей энергии являются вентильно-индукторные двигатели. Они отличаются

от других типов электроприводов наличием управляющих воздействий, определяющих не только установившийся режим работы, но и динамические и энергетические показатели привода. Рациональный подбор алгоритмов управления и их взаимосвязь с выходными данными ВИД (скорость, момент и т.д.) требует определения критерия оптимизации, условий и ограничений.

Целью данной статьи является компьютерная оценка влияния алгоритма управления, углов управления на электромеханические свойства и характеристики ВИД.

Известны [1] три вида алгоритмов управления фазами индукторной машины (ИМ): одиночный симметричный, парный симметричный и несимметричный. Все виды алгоритмов могут быть применены только для двигателей с количеством фаз $m \geq 4$. Для ИМ меньшей фазности используется только одиночный симметричный режим.

Оборот ротора разбивается на равные угловые зоны. Число угловых зон определяется делением 360° на период включенного состояния $\nu_к$ фаз для геометрических угловых размеров, а для электрических размеров – можно разделить на число фаз, что также определяет число зон включенного состояния $\nu_к$ за один цикл работы двигателя.

Формулы, определяющие период включенного состояния $\nu_к$ фаз ВИД, можно записать так:

$$\begin{aligned} V_K &= 2\pi K_C \frac{Z_S - Z_R}{Z_S \cdot Z_R}, \text{ геометрический радиан,} \\ V_K &= K_C\left(\frac{360}{Z_R} - \frac{360}{Z_S}\right), \text{ геометрический градус,} \\ V_K &= 2\pi K_C\left(\frac{Z_S - Z_R}{Z_S}\right), \text{ электрический радиан,} \end{aligned} \qquad (1)$$

где Z_S и Z_R – число зубцов статора и ротора, K_C – коэффициент несимметрии включенного состояния фаз, пределы изменения которого $1 \leq K_C \leq 2$.

При $K_C = 1$ имеем одиночный симметричный алгоритм управления, при $K_C = 2$ – парный симметричный алгоритм, при $1 < K_C < 2$ – несимметричный алгоритм, угловое состояние которого меняется в указанных пределах.

Для примера согласно формуле (1) периоды включенного состояния $\nu_к$ четырех фазного ВИД для известных алгоритмов даны в табл. 1.

Таблица 1

Периоды включенного состояния для различных алгоритмов коммутации

Характеристика ИМ	Алгоритм коммутации			Единица физической величины, градус
	одиночный симметричный	парный симметричный	несиммет-ричный	
8/6	15	30	>15, <30	геометрический
	90	180	>90, <180	электрический
16/12	7,5	15	>7,5, <15	геометрический
	90	180	>90, <180	электрический
24/18	5	10	>5, <10	геометрический
	90	180	>90, <180	электрический

Есть понятие нейтральной коммутации [2], когда при постоянном токе в обмотках фаз момент на краях внекоммутационного периода одинаков $M(0) = M(\nu_к)$. Начальный угол включения нейтральной коммутации определяется как

$$\nu_{on\,н} = \frac{\pi}{2Z_R} - \frac{\nu_к}{2}.$$

Момент, созданный пондеромоторными силами от взаимодействия магнитодвижущей силы обмотки статора с зубцами ротора, находится как

$$M = \frac{Z_R L_m I^2}{2} \cos Z_R \left(\nu - \frac{\nu_к}{2} \right).$$

где $L_m = \frac{(L_d - L_q)}{2}$; L_d и L_q – индуктивности в согласованном и рассогласованном положении зубцов статора и ротора активных фаз индукторной машины; I – ток фазы двигателя; ν – текущее значение угла поворота ротора.

Исследования ВИД проводили на модели [4] с применением пакета MatLab, используя мгновенные значения переменных. Была получена система неизменной структуры линейная на каждом шаге расчета и наиболее полно отвечающая физическим особенностям индукторной машины и преобразователя частоты, коммутирующего обмотки фаз. Основные параметры исследуемого четырехфазного ВИМ: источник питания 200 В, момент инерции 0,01 кГм^2 , момент сопротивления на валу 5 Нм. Для подсчета среднего электромагнитного момента за цикл работы двигателя и определения величины его пульсации (коэффициент пульсаций $K_{пул}$) применялись следующие формулы [3]:

$$M_{ср} = \frac{\sum_{j=1}^{n} M_j}{J}, \; J \in [1, N];$$

$$K_{пул} = \frac{\max(M_j) - \min(M_j)}{2M_{ср}}, \; J \in [1, N];$$

где $\max(M_i)$ – максимальный момент за цикл работы; $\min(M_i)$ – минимальный момент за цикл работы; N – количество точек интегрирования.

Проведены исследования работы двигателя в установившихся режимах для трех алгоритмов управления. Фиксировались критические точки суммарного момента M и фазных моментов M_a, M_b, M_c, M_d, ток двух фаз I_a, I_b и средняя установившаяся скорость $\omega_{ср}$ вращения вала двигателя.

На рис. 1 показан фрагмент работы ВИД в установившемся режиме при управлении его одиночным симметричным алгоритмом $K_C = 1$ и нейтральной коммутации $\nu_{оп.н}$. График суммарного электромагнитного момента существенно отличается от нейтрального. На эту кривую влияют моменты, созданные при гашении поля отключаемых фаз. Их отрицательные значения являются тормозными, вызывают негативные последствия, что весьма нежелательно для ВИД. Эффект тормозного момента наступает, если ток отключаемой фазы и момент не уменьшились до нуля при наступлении согласованного положения зубца статора и ротора. Это ведет к уменьшению среднего электромагнитного момента двигателя и увеличению его пульсаций за цикл работы ИМ. Наличие тормозных моментов фаз можно увидеть и по кривой суммарного электромагнитного момента M двигателя – это скачки в названном графике (рис. 1).

Возникает вопрос, какой угол управления $\nu_{оп.б}$ взять за базовый? Критерием оптимальности базового угла является получение среднего момента за цикл работы ИМ при наименьшем уровне пульсации. Для этого необходимо стремиться к тому, чтобы ток уменьшился до нуля при достижении согласованного положения зубцов статора и ротора, только тогда получим оптимальный процесс преобразования энергии. Определить и заранее рассчитать угол отключения ν_{off} фазы довольно сложно. Он будет зависеть от постоянной времени спадания тока и обратного напряжения, прикладываемого к обмотке при гашении ее поля. Электромагнитный момент фазы экспериментально замерить нереально, но имеется возможность с определенной погрешностью оценить его при моделировании ВИД.

Если получить угол ν_0, на который зубец ротора не «дошел» до зубца статора в момент оптимального отключения ν_{off}, то можно рассчитать базовое угловое значение включения $\nu_{on.б}$ фазы по уравнениям

$$\frac{\pi}{2Z_R} - \nu_0 = \nu_{off}, \quad \nu_{on.б} = \nu_{off} - \nu_K.$$

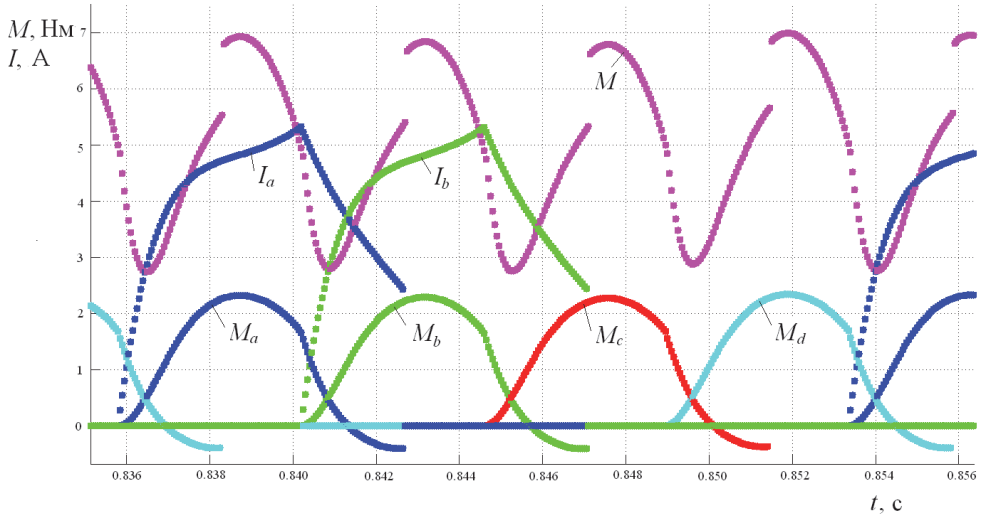


Рис. 1. Установившийся режим работы ВИД
при одиночном симметричном алгоритме и нейтральной коммутации

Угол отключения ν_{off} для одиночного симметричного алгоритма является углом включения ν_{on} для следующей фазы.

На рис. 2. показаны графики сравниваемых переменных ВИД при $K_C = 1$ и угле включения $\nu_{on.б}$ = 0,4 рад, который можно назвать базовым. Характер изменения момента и наименьший коэффициент пульсаций удовлетворяют условию оптимальности.

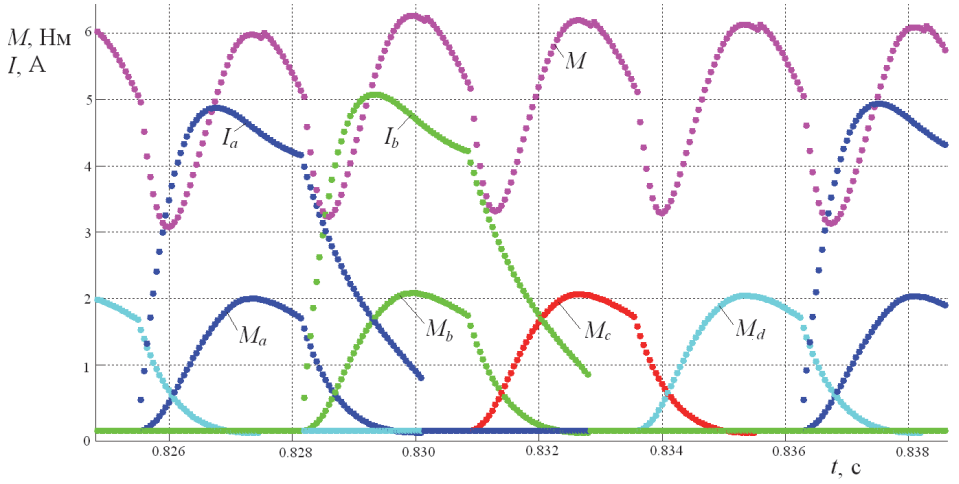


Рис. 2. Установившийся режим работы ВИД
при одиночном симметричном алгоритме и базовом угле коммутации

Для некоторых коэффициентов несимметрии K_C и различных углов управления ν_{on}, полученные результаты сведены в табл. 2. Отрицательные значения – ν_{on} говорят о том, что угол управления ν_{on} меньше рассогласованного положения, принятого за начало отсчета.

Таблица 2

Результаты моделирования для различных алгоритмов коммутации

K_C	ν_{on}, рад	M_{max}, Нм	$-M$, Нм	$K_{пул}$	$I_{ф.max}$, А	$\omega_{ср}$, рад/с
1	0,785	6,7	–0,28	0,387	5	392
	0,4*	6,1	–0,02	0,321	5	584
	0,35	6,2	0	0,329	5,1	610
	0,135	6,67	0	0,392	5,76	730
1,2	0,628	6,13	–0,63	0,206	4,83	461
	0,45*	5,5	–0,28	0,12	4,8	573
	0,29	5,7	–0,1	0,144	5	675
	0	5,9	0	0,231	5,9	863
	–0,27	6,75	0	0,365	6,89	1041
1,5	0,393	10,3	–2,3	0,947	6,36	470
	–0,13	6,89	–0,329	0,361	5,84	887
	–0,43*	6,5	–0,02	0,293	7,0	1220
	–0,627	6,8	0	0,318	7,4	1345
	–1,1	8	0	0,532	9,1	1640
1,8	0,157	73,99	–38	12,374	21,2	216
	–1*	7,2	–0,01	0,357	8,15	1652
	–1,15	7,5	0	0,36	8,7	1753
	–1,45	7,5	0	0,461	9,2	1950
2	0	86,2	–52,15	13,759	23,65	234
	–0,7	7,2	–0,65	0,395	8,2	1342
	–1,1*	7,17	–0,163	0,395	8,64	1776
	–1,34	7,2	0	0,396	9	1972
	–1,64	7,4	0	0,436	9,5	2140

Примечание. * – угловые значения, которые можно считать базовыми для соответствующего коэффициента несимметрии.

При несимметричном алгоритме управления углы отключения фаз ν_{off} могут меняться в следующих пределах:

$$\nu_{off.од} < \nu_{off} < \nu_{off.пар},$$

где $\nu_{off.од}$ – угол отключения при одиночном симметричном алгоритме коммутации; $\nu_{off.пар}$ – угол отключения при парном симметричном алгоритме коммутации.

Для достижения оптимального режима работы с увеличением K_C базовый угол включения $\nu_{on.б}$ необходимо изменять в сторону опережения даже за пределы рассогласованного положения. Однако это смещение не должно превышать предельного угла, различного для каждого K_C. При пуске двигателя вхолостую и с нагрузкой угол включения ν_{on} необходимо выставлять больше угла рассогласованного положения, а по мере увеличения скорости можно скачком или плавно уменьшить до базового значения и более. Особенно это важно для одиночного симметричного режима.

Анализ табл. 2 показывает, что наименьшие пульсации и отсутствие тормозных эффектов одновременно невозможны. Поэтому за базовый угол управления $\nu_{on.б}$ принимается угол при минимальном коэффициенте пульсаций $K_{пул}$. При этом отрицательное значение моментов торможения фаз будет минимальным. С уменьшением угла управления меньше базового коэффициенты пульсаций возрастают, тормозные эффекты отсутствуют полностью ($-M = 0$). Скорость вращения $\omega_{ср}$ увеличивается при изменении угла управления в сторону опережения.

Уменьшение коэффициента пульсаций почти в 3 раза с применением несимметричного алгоритма ($K_C = 1{,}2$) по сравнению с одиночным симметричным ($K_C = 1$) подтверждает известный тезис. Однако с увеличением K_C это достоинство теряется, а при парном симметричном алгоритме ($K_C = 2$) становится примерно таким же, как и при одиночном симметричном алгоритме управления. При этом скорость вращения увеличивается примерно в три раза. Следует ожидать, что нагрузочная способность двигателя при $K_C = 2$ увеличится при одинаковых скоростях вращения.

Регулирование скорости вращения при любом алгоритме управления от $\nu_{оп.б}$ в ту или иную сторону вызывает рост коэффициентов пульсаций $K_{пул}$, а тормозные эффекты возникают при увеличении $\nu_{оп}$ и отсутствуют при уменьшении $\nu_{оп}$.

Литература

1. *Кузнецов В.А., Кузьмичёв В.А.* Вентильно-индукторные двигатели. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 70 с.

2. *Овчинников И.Е.* Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность): курс лекций. СПб.: КОРОНА-Век, 2006. 336 с.

3. *Радимов И.Н., Рымша В.В., Процына З.П.* Коэффициенты полюсного перекрытия трехфазного вентильно-реактивного двигателя // Электромашиностроение и электрооборудование, 2009. Вып. 73. С. 63-67.

4. *Чихняев В.А., Нестерин В.А., Ваткин В.А., Бабак А.Г.* Математическое исследование вентильно-индукторного привода // Автоматизированный электропривод: сб. науч. тр., посвященный 40-летию кафедры систем автоматического управления электроприводами Чуваш. гос. ун-та им. И.Н. Ульянова. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2003. С. 152-160.

ЧИХНЯЕВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры системы автоматического управления электроприводами, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (chih4242@mail.ru).

CHIHNYAEV VICTOR ALEXANDROVICH – candidate of technical sciences, associate professor of Electrical Drivers System Automatic Control Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АХМЕТЗЯНОВ ДИНАР ИЛНУРОВИЧ – магистрант второго года обучения, факультет энергетики и электротехники, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (kray1@list.ru).

AKHMETZYANOV DINAR ILNUROVICH – master's program student of second course, Electrical and Power Engineering Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.391.26
ББК 32.811.3

В.Г. АГАКОВ, Г.В. МАЛИНИН, С.В. АБРАМОВ

ЭФФЕКТЫ КОНЕЧНОЙ РАЗРЯДНОСТИ ДВОИЧНЫХ ЧИСЕЛ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Ключевые слова: *цифровые фильтры, передаточная функция, разрядность, дискретизация, квантование, шум, дисперсия, погрешность, аналого-цифровой преобразователь (АЦП).*

Предложен метод оценки конечной разрядности основных блоков цифровых фильтров по их структуре и допустимым отклонениям амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра в полосах пропускания и задерживания. Приведены результаты экспериментальных исследований.

V.G. AGAKOV, G.V. MALININ, S.V. ABRAMOV

THE EFFECTS OF FINITE BITNESS BINARY NUMBERS AT REALISATION OF DIGITAL FILTERS

Key words: *digital filters, transfer function, bitness,* sampling*, quantization, noise, dispersion, error, ADC.*

A method for estimating the finite bitness of the main blocks digital filters in their structure and permissible deviations of the filter frequency response in the passband and stopband is proposed. The results of experimental studies.

Одной из основных задач цифровой обработки сигналов является фильтрация длинной последовательности чисел, а наиболее важным устройством – цифровой фильтр (ЦФ). Процедура синтеза ЦФ по заданным требованиям к частотным характеристикам включает в себя кроме определения коэффициентов передаточной функции выбор структуры ЦФ, расчет разрядностей входного сигнала (разрядности АЦП) и разрядностей основных узлов ЦФ, выполняющих операции задержки, умножения отсчетов входного и выходного сигналов на соответствующие коэффициенты, сложения (вычитания) полученных результатов и хранения. Все узлы фильтра имеют конечную разрядность, обусловленную процессом квантования числовых кодов в ЦФ. Источниками ошибок при квантовании числовых кодов в ЦФ являются округление (усечение) результатов арифметических операций, ошибки аналогово-цифрового квантователя входных аналоговых сигналов, квантование коэффициентов ЦФ.

В настоящее время перспективной является реализация алгоритмов цифровой фильтрации на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). В силу своей универсальности ПЛИС позволяют реализовывать не только структуры ЦФ частотной селекции с конечной и бесконечной импульсными характеристиками (КИХ- и БИХ-фильтры), но и другие виды: многокаскадные структуры с прореживанием по времени и частоте, структуры фильтров Винера–Калмана, робастные и адаптивные. Перспективной является реализация на ПЛИС алгоритмов проектирования ЦФ частотной селекции с поиском информативных спектральных составляющих, когда в заданном интервале частот определяются информативные поддиапазоны. Многие КИХ- или БИХ-фильтры удобно реализовать на ПЛИС фирмы Xilinx или Altera. Благодаря особенностям своей архитектуры ПЛИС позволяют достигнуть наилучших показателей производительности по сравнению с другими способами реализации ЦФ. Разрядность узлов ПЛИС, предназначенных для цифровой обработки сигналов (умножители, регистровая память, цепи ускоренного переноса) и реализованных в виде аппаратных модулей на кристалле, позволяет выбрать их оптимальное значение.

Независимо от комплектной базы, на которой построены ЦФ, необходима оценка точности их функционирования. В статье предлагается один из способов оценки нижней и верхней границ разрядности основных блоков ЦФ [2, 3].

Квантование дискретных сигналов (в АЦП, умножителях и сумматорах) состоит в представлении отсчета (выборки сигнала) числом $X(nT)$, содержащим b числовых разрядов, T – период дискретизации. Ошибки квантования считаются случайными величинами с равномерным распределением, часто их называют шумами (шумом квантования входного сигнала, шумом округления [4]). Они характеризуются средним значением и дисперсией. Дисперсия шума аналого-цифрового преобразования (входного сигнала) при равномерной плотности вероятности ошибки усечения или округления определяется как [4]

$$D_{\text{вх}} = \frac{Q^2}{12} = \frac{2^{-2b}}{12},$$

где Q – шаг квантования, определяемый весом младшего разряда ($Q = 2^{-b}$).

Абсолютное значение ошибки усечения не превосходит шага квантования:

$$\max|\varepsilon_{\text{ус}}| < 2^{-b} = Q.$$

Ошибка округления при всех способах кодирования лежит в пределах

$$-2^{-(b+1)} < \varepsilon_{\text{ок}} < 2^{-(b+1)}.$$

Следовательно, $\max|\varepsilon_{\text{ок}}| < 2^{-(b+1)} = Q/2$.

Поскольку средняя и максимальная ошибки, вызванные округлением, меньше соответствующих ошибок усечения, на практике предпочтение отдают округлению, чтобы минимизировать ошибки переполнения.

При рассмотрении умножения в ЦФ приняты допущения относительно статической независимости различных источников шума: любые два отсчета шума от одного и того же источника некоррелированы; любые два источника шума, возникающего в различных умножителях, создают независимые шумы; шум от каждого из источников некоррелирован с входной последовательностью.

В ЦФ параллельной структуры [4] шумы от всех источников приложены к одной точке фильтра (сумматору), поэтому согласно второму допущению дисперсия полного шума на выходе ЦФ

$$D_{\text{вых}} = \sum_{i=1}^{l} \sigma_{ei}^2,$$

где σ_{ei}^2 – дисперсия i-го источника шума.

Если ЦФ реализуется по каскадной структуре, то источники шума подключаются к разным точкам схемы. Оценка шума на выходе фильтра производится по формуле

$$D_{\text{вых}} = \sum_{k} D_{ok},$$

где D_{ok} – дисперсия шума на выходе звена k, причем

$$D_{\text{ок}} = \sigma_e^2 \sum_{n=0}^{\infty} h_k(nT), \tag{1}$$

где $\sigma_e^2 = 2^{-2b}/12$, $h_k(nT)$ – импульсная характеристика звена второго порядка.

Дисперсия шума квантования входного сигнала на выходе ЦФ находится как

$$D_{\text{вых}} = D_{\text{вх}} \sum_{i=1}^{M} \sum_{n=0}^{\infty} h_i^2(nT), \tag{2}$$

где M – число звеньев ЦФ.

Вычисление сумм в (1) и (2) можно упростить, если воспользоваться равенством Парсеваля [4]

$$\sum_{n=0}^{\infty} h_k^2(nT) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left| H_k\left(e^{j\omega}\right)\right|^2 d\omega. \tag{3}$$

В выражении (3) $H_k(z)$ – передаточная функция звена второго порядка ЦФ, определяемая как Z-преобразование от отсчетов импульсной характеристики $h_k(nT)$. $H_k(z)$ легко найти по структурной схеме ЦФ. Интеграл (3) берется вдоль единичной окружности и может быть найден с использованием теоремы Коши о вычетах.

Обычно полагают, что на этапе аппроксимации коэффициенты передаточной функции ЦФ имеют неограниченную точность. Если коэффициенты квантованы, то частотная характеристика получаемого фильтра может существенно отличаться от заданной (этот эффект будет проиллюстрирован ниже); если же шаг квантования велик, то фильтр вообще не будет удовлетворять поставленным требованиям.

При проектировании ЦФ задаются допустимые величины неравномерностей амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), обусловленные погрешностями, присущими ЦФ, показанными на рис. 1.

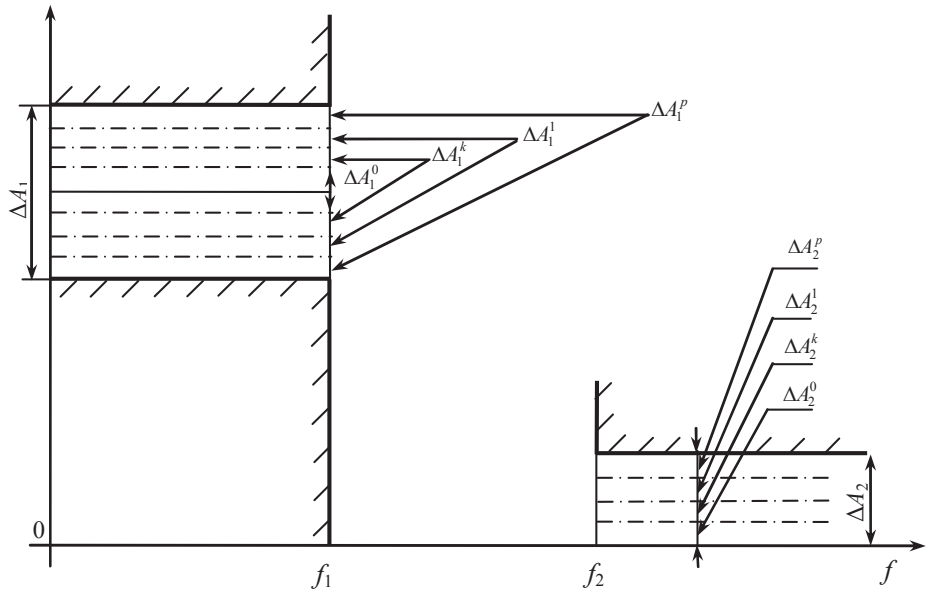


Рис. 1. Допуски на отклонение АЧХ

На рис. 1 приняты следующие обозначения: f_1, f_2 – граничные частоты полосы пропускания и полосы задерживания, соответственно; $\Delta A_1^0/2$ – допустимое отклонение АЧХ от единицы в полосе пропускания при аппроксимации АЧХ идеального фильтра; ΔA_1^k, ΔA_1^1, ΔA_1^p – эквивалентные искажения АЧХ в полосе пропускания, обусловленные, соответственно, округлением коэффициентов, квантованием входного сигнала и округлением (усечением) результатов операций; ΔA_2^0 – допустимое отклонение АЧХ от нуля в полосе задерживания при аппроксимации; ΔA_2^k, ΔA_2^1, ΔA_2^p – эквивалентные искажения АЧХ в полосе задерживания, обусловленные, соответственно, округлением коэффициентов, квантованием входного сигнала и округлением (усечением) результатов операций; ΔA_1 (ΔA_2) – заданное допустимое отклонение АЧХ от единицы в полосе пропускания (или от нуля в полосе задерживания).

На этапе аппроксимации конструируется передаточная функция $H(z)$ ЦФ, реализующая требуемую АЧХ с заданными погрешностями ΔA_1^0 (в полосе пропускания) и ΔA_2^0 (в полосе задерживания). Пусть структура ЦФ соответствует каскадному соединению типовых (биквадратных) звеньев второго порядка с общей передаточной функцией

$$H(z)=\prod_{i=1}^{M}H_i(z)=\prod_{i=1}^{M}\frac{A_i(z)}{B_i(z)}=\frac{\alpha_{0i}+\alpha_{1i}z^{-1}+\alpha_{2i}z^{-2}}{1+\beta_{1i}z^{-1}+\beta_{2i}z^{-2}}.$$

Для нерекурсивных фильтров передаточная функция имеет вид

$$H(z)=\prod_{i=1}^{M}H_i(z)=\prod_{i=1}^{M}A_i(z).$$

При реализации цифровых фильтров чаще используют звенья канонической структуры с минимальным числом элементов задержки [4].

Как уже отмечалось, входной аналоговый сигнал перед обработкой ЦФ подвергается квантованию в АЦП. Важным является определение разрядности входного сигнала, т.е. АЦП, m_x. При большой величине m_x практически невозможно реализовать АЦП, поэтому важно определить нижнюю границу разрядности АЦП. Оценка m_x производится в предположении, что вычисления в ЦФ выполняются без погрешностей, т.е. при неограниченной разрядности всех регистров, кроме входного [3]:

$$m_x=\mathrm{int}\left(\log_2\frac{\sum_{n=0}^{\infty}|h(nT)|}{\min(\Delta A_1'',\Delta A_2'')}\right), \tag{4}$$

где int(B) означает целое число не более B; $h(nT)$– импульсная характеристика ЦФ (находится после решения задачи аппроксимации и определения передаточной функции $H(z)$); $\Delta A_1''$ и $\Delta A_2''$ – допуски на собственные шумы цифрового фильтра, отводимые на эффекты, обусловленные ограниченной разрядностью АЦП $\Delta A_1'$ и $\Delta A_2'$, и эффекты, обусловленные ограниченной разрядностью регистров ΔA_1^p и ΔA_2^p.

При вычисленной величине m_x по выражению (4) можно определить допуски на собственные шумы ЦФ [3]:

$$\Delta A_1'=\Delta A_2'=2^{-m_x}\sum_{n=0}^{\infty}|h(nT)|, \tag{5}$$

$$\Delta A_1^p=\Delta A_1''-\Delta A_1';\ \Delta A_2^p=\Delta A_2''-\Delta A_2'. \tag{6}$$

$$(\Delta A_1''=\Delta A_1-\Delta A_1^0;\ \Delta A_2''=\Delta A_2-\Delta A_2^0).$$

Для учета конечной разрядности регистров сумматоров и умножителей каскадную структуру ЦФ представим в виде, показанном на рис. 2 [2].

Временные функции $f_i(nT)$ и $g_i(nT)$ представляют собой импульсные характеристики отдельных составляющих структуры ЦФ [5] так, как показано на рис. 2.

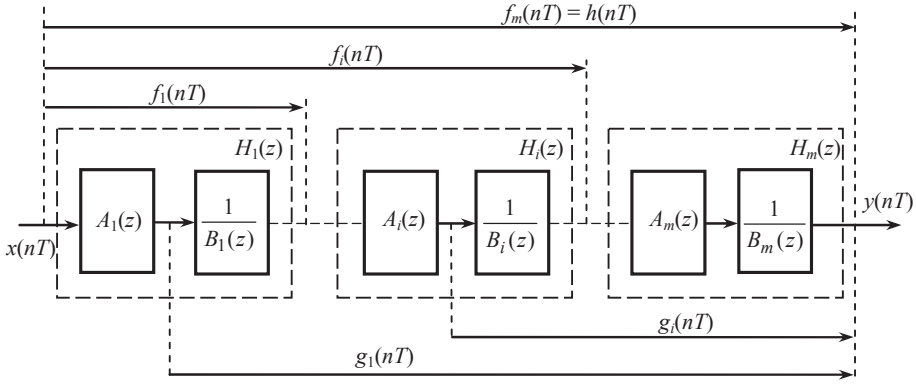


Рис. 2. Каскадная структура цифрового фильтра

Допустим, что разрядности регистров сумматоров m_q и умножителей m_s равны. Тогда

$$m_q = m_s = m_{\text{ц}} + m_{\text{д}}, \qquad (7)$$

где $m_{\text{ц}}$, $m_{\text{д}}$ – разрядность для фиксации целой и дробной части кодов, соответственно.

Исходя из уравнений (4)-(7), получим [2]

$$m_{\text{д}} = \text{int}\left(\log_2 \frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{n=0}^{\infty}|f_i(nT)|}{\min\left(\Delta A_1^p, \Delta A_2^p\right)} \right), \quad m_{\text{ц}} = \text{int}\left(\max_{i=1,\ldots,M} \left\{ \max(|A_i|,1) \sum_{n=0}^{\infty} g_i(nT) \right\} \right).$$

Здесь $|A_i|$ – максимальное абсолютное значение полинома числителя биквадратного звена при $z = e^{j\omega T}$.

Если $m_{\text{д}} >> m_x$, то целесообразно увеличить m_x таким образом, чтобы, с одной стороны, величина m_x удовлетворяла возможностям АЦП, а с другой – была бы одного порядка с величиной $m_{\text{д}}$.

Верхняя граница разрядности операционных блоков определяется исходя из отношения сигнал/шум ($S_{\text{с/ш}}$) для АЦП по известному выражению

$$S_{\text{с/ш}} = 6{,}02N + 1{,}76 \text{ (дБ)}.$$

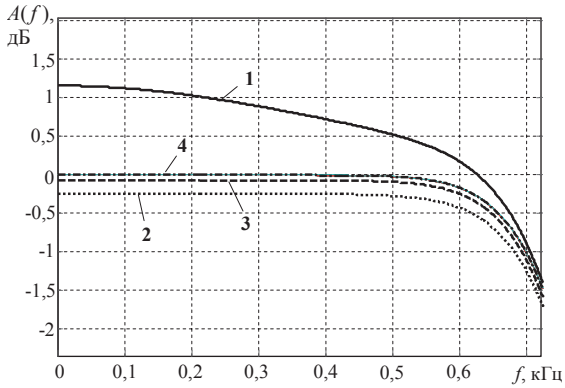


Рис. 3. АЧХ фильтра:
1 – квантование коэффициентов ЦФ 8 битами;
2 – квантование 10 битами;
3 – квантование 12 битами;
4 – квантование 16 битами

Влияние разрядности основных блоков фильтров проявляется в отклонении АЧХ от желаемой формы. В некоторых случаях такое отклонение может означать то, что фильтр не удовлетворяет исходным данным. Продемонстрируем влияние разрядности на примере фильтра нижних частот (рис. 3).

Исходные данные на проектирование фильтра: граничная частота полосы пропускания f_1 = 650 Гц, граничная частота полосы задерживания f_2 = 1300 Гц, крутизна характеристики затухания в полосе задерживания – 30 дБ/окт, неравномерность характеристики затухания в полосе пропускания – 1 дБ, тип аппроксимации – метод Баттерворта.

Передаточная функция проектируемого фильтра нижних частот имеет вид

$$H(z) = \prod_{k=1}^{3} \frac{\beta_{0k}\left(1+z^{-1}\right)^2}{1+\alpha_{1k}z^{-1}+\alpha_{2k}z^{-2}}.$$

Значения неквантованных коэффициентов отдельных звеньев [1]

Звено 1: β_{01}=0,0571724; α_{11}=–1,121; α_{21}=0,3224.

Звено 2: β_{02}=0,057887; α_{12}=–1,2329; α_{22}=0,45443.

Звено 3: β_{03}=0,056416; α_{13}=–1,4907; α_{23}=0,75855.

Как видно из рис. 3, квантование 8 битами вызывает сильное искажение АЧХ фильтра. Квантование коэффициентов фильтра 16 битами дает минимальную погрешность, поэтому для систем, требующих высокой точности, нижнюю границу разрядности необходимо выбирать равной 16 битам. Как показала практика реализации ЦФ на ПЛИС фирмы Xilinx, разрядность коэффициентов следует задавать не меньше чем 18. Такой выбор связан с тем, что блоки умножения в низших семей-

ствах ПЛИС семейства FPGA, на которых можно реализовать фильтр, имеют именно такую разрядность.

Следует отметить, что ограничение разрядности приводит также к смещению нулей и полюсов передаточной функции $H(z)$, что, в свою очередь, может привести к неустойчивости или потенциальной неустойчивости фильтров больших порядков. В зависимости от порядка фильтра допускается построение эквивалентных структур, образованных переупорядочиванием звеньев второго порядка. С точки зрения ошибок конечных разрядностей такие структуры неравнозначны. Решение данной задачи весьма затруднительно [4] и требует для анализа влияния конечной разрядности использование специализированных программ.

Литература

1. *Агаков В.Г., Носов А.А., Мягчилов М.Ю., Абрамов С.В.* Моделирование цифровых фильтров на программируемых логических интегральных схемах // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 185-192.

2. *Агаков В.Г., Носов А.А., Абрамов С.В.* Оценка конечной разрядности основных блоков цифровых фильтров // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 8-й Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. С. 195-202.

3. *Агаков В.Г., Носов А.А., Фомина М.С.* О точности схемной реализации цифровых фильтров // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. Вып. 12. С. 194-201.

4. *Белов Г.А.* Сигналы и их обработка в электронных устройствах: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1996. 376 с.

5. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. М: Мир, 1978. 848 с.

АГАКОВ ВСЕВОЛОД ГЕОРГИЕВИЧ – кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (agakov@chuvsu.ru).

AGAKOV VSEVOLOD GEORGIEVICH – candidate of physical and mathematical sciences, professor, head of Higher Mathematics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МАЛИНИН ГРИГОРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (malgrig6@mail.ru).

MALININ GRIGORIY VYACHESLAVOVICH – candidate of technical sciences, associate professor of Industrial Electronics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АБРАМОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – магистрант кафедры промышленной электроники, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (nolneus@mail.ru).

ABRAMOV SERGEI VLADIMIROVICH – master's program student of Industrial Electronics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 004.85
ББК Ч 600.65

П.А. АНОХИН

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РЕКЛАМНОЙ СЕТИ ПО СОЦИАЛЬНО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Ключевые слова: *интернет-реклама, прогнозирование кликов, машинное обучение, социально-демографические признаки, регрессия, кластеризация.*

Рассмотрены проблемы использования социально-демографической информации о пользователях при прогнозировании кликов в рекламной сети методами машинного обучения. Предложены варианты предварительной подготовки социально-демографических факторов для максимизации извлекаемой из них информации о кликах, среди которых использовались построение регрессии и кластеризация пользователей. Произведено сравнение предложенных вариантов с использованием метрики, основанной на правдоподобии обученной модели.

P.A. ANOKHIN

USER CLUSTERING BASED ON SOCIODEMOGRAPHIC FACTORS

Key words: *internet advertisement, clicks prediction, machine learning, sociodemographic factors, regression, clustering.*

The present article considers the problems of exploiting the sociodemographic data about users in predicting clicks in a banner system via machine learning methods. Several variants of pre-processing sociodemographic data to maximize retrievable information about clicks are proposed, among which are: regression model and user clistering. Comparison of those is done using a metric based on the likelihood of the trained models.

Баннерная система – комплекс программ, осуществляющих решение задачи выбора объявлений для показа в интернете. Для баннерных систем актуальной является задача адекватного прогнозирования их Click Through Rate (CTR) объявлений, т.е. отношения количества кликов к количеству показов.

Фактический CTR можно считать мерой интереса пользователей к рекламным объявлениям, поэтому способность его прогнозировать означает также способность выбирать наиболее подходящие объявления из множества доступных. Следует отметить, что релевантность объявления интересам пользователя – не единственный критерий отбора, поскольку объявления разнятся еще и по стоимости клика. В связи с этим крайне важно прогнозировать настоящий CTR, а не просто некоторую монотонную функцию от него, чего было бы достаточно для ранжирования объявлений по релевантности.

Ввиду необходимости работы в реальном времени, а также большого количества разнообразных факторов, влияющих на этот прогноз, для баннерных систем типично использование методов машинного обучения.

Можно выделить несколько групп факторов, влияющих на прогноз CTR, в зависимости от их природы и физического смысла. Во-первых, существуют факторы-идентификаторы, например: страница, для показа на которой выбирается объявление; алгоритм, предложивший объявление к показу; категория тематики объявления. Во-вторых, статистические факторы, отражающие накопленную за продолжительное время историю поведения пользователей в рекламной сети в различных разрезах, например: сколько было показов и кликов по объявлениям данной тематики на данной странице. В-третьих, релевантностные факторы: например, насколько текст объявления релевантен тексту страницы.

Помимо названных групп факторов представляется важным учитывать социально-демографическую информацию о пользователе.

Задача ставится следующим образом. Пусть социально-демографическая информация о пользователе представлена набором вероятностей. Например, если показатель (пол, возраст, доход и т.д.) принимает одно из N значений, то нам доступен

вектор $(p_1, \ldots, p_N)$, где p_i равно вероятности, что значение показателя есть i. Кроме того, имеется информация о тематике объявления. Необходимо научиться методами машинного обучения извлекать из этих данных максимум информации о CTR при обучении на логе показов и кликов пользователей в рекламной сети.

$$llp = \frac{ll_m - ll_0}{\sum_i c_i},$$
$$ll_m = \sum_i [(s_i - c_i)\log(1 - P_i) + c_i \log P_i], \quad ll_0 = \log(1 - P_0)\sum_i s_i + \log\frac{P_0}{1 - P_0}\sum_i c_i, \tag{1}$$

где s_i, c_i – показы и клики в i-й корзине; P_i – прогноз CTR в i-й корзине; P_0 – средний CTR в сети; ll_0, ll_m – логарифмы правдоподобия простой модели и исследуемой модели, соответственно.

В качестве движка машинного обучения выбран Matrixnet [1], а в качестве целевой функции – llp (1), т.е. прирост логарифма правдоподобия модели по отношению к модели, всегда прогнозирующей P_0, нормированный на количество кликов.

Оказалось, что качество прогноза модели, обученной с использованием набора вероятностей в качестве факторов, достаточно низко ($llp = 0{,}11$). Это объясняется тем, что построение решающего дерева путем разбиения диапазонов значений вероятностей на отрезки проблематично: сложность такого дерева слишком быстро растет с количеством факторов.

Рассмотрены различные подходы, способные улучшить качество прогноза.

Один из них – построение регрессии, восстанавливающей зависимость CTR от социально-демографических данных при фиксированной тематике.

$$f(p) = S\left[a + \sum_i \left(b_i p_i + c_i p_i^2 + d_i \log(p_i + \varepsilon)\right)\right], \tag{2}$$

где a, b_i, c_i, d_i – параметры регрессии; $p = (p_1, \ldots, p_N)$ – вектор вероятностей; S – логистическая функция; $\varepsilon << P_0$.

Поиск регрессии производился в классе функций (2). В качестве факторов использовались средний CTR тематики, значение регрессии и параметры регрессии для данной тематики.

Преимущество данного подхода заключается в том, что движок машинного обучения получает на вход предварительно подготовленные факторы, более явным образом скоррелированные с CTR. Недостаток же его в трудности построения регрессии, поскольку количество показов и кликов в корзинах может быть довольно мало.

Данный подход показал рост llp до 0,14.

Альтернативный подход заключается в кластеризации пользователей по социально-демографическим данным и сборе статистической информации для каждой пары (тематика объявления, кластер пользователей).

Кластер задается центром – фиксированной точкой в пространстве социально-демографических факторов. Каждая точка этого пространства принадлежит тому кластеру, центр которого является ближайшим к ней согласно выбранной метрике.

$$d(p, q) = \arccos\left(\sum_i p_i q_i\right), \tag{3}$$

где $p = (p_1, \ldots, p_N)$, $q = (q_1, \ldots, q_N)$ – векторы; $d(p, q)$ – расстояние между ними.

Был произведен выбор множества центров кластеров, описывающих группы людей, предположительно обладающих в силу социально-демографических свойств некоторой общностью интересов и особенностей поведения (например, молодые женщины со средним уровнем дохода). Для определения ближайшего центра использовалась метрика (3). В качестве факторов для обучения использовалась статистика по каждой паре (тематика объявления, кластер пользователей), а также номера кластеров пользователей. В случае, если накопленная статистика по паре была мала, использовалось сглаживание от глобальной статистики, т.е. от P_0 [2].

Таким образом, этот метод позволяет свести проблему к хорошо известной и успешно решаемой задаче использования для прогноза факторов-идентификаторов и статистических факторов.

Был поставлен эксперимент, продемонстрировавший рост *llp* до 0,21.

В связи с наибольшей результативностью данного метода, а также с его сравнительной простотой и наглядностью используемых факторов, к примеру, по сравнению с методом, использующим регрессию, метод с кластеризацией был выбран для внедрения.

В будущем планируется работа по автоматизации кластеризации пользователей, что, по-видимому, может привести к дальнейшему росту качества прогноза.

Литература

1. *Анохин П.А.* Социально-демографические факторы в прогнозировании CTR в рекламной сети // Труды 55-й научной конференции МФТИ: Всерос. науч. конф. «Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе», науч. конф. «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики и астрономии», Всерос. молодежной науч. конф. «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Инновации и высокие технологии. М.: МФТИ, 2012. С. 18-19.

2. Matrixnet: Low Level of Search Quality. 2009 [Электронный ресурс]. URL: http://company.yandex.com/technologies/matrixnet.xml (дата обращения: 13.02.2013).

3. Click-Through Rate Estimation for Rare Events in Online Advertising. 2011 / *W. Xuerui, L. Wei, C. Ying et al.* [Электронный ресурс]. URL: http://labs.yahoo.com/files/ctr_book_chapter_0.pdf

АНОХИН ПАВЕЛ АНДРЕЕВИЧ – аспирант, Московский физико-технический институт (государственный университет), Россия, Москва (paul.anokhin@gmail.com).

ANOKHIN PAVEL ANDREEVICH – post-graduate student, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Russia, Moscow.

УДК 330.341.1:51
ББК 65.011в6

И.Т. АРТЕМЬЕВ, Э.И. АРТЕМЬЕВ, С.О. ИВАНОВ

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ЛОМАНЫХ ОДНОФАКТОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: *производственная функция, математическое моделирование, функция прибыли.*

Показано, что в ряде случаев методы высшей математики при исследовании эффективности производства наглядно иллюстрируются графическими методами. Рассмотрены постановка и решение задачи о предельном продукте и законе убывающей задачи одноресурсной фирмы в случае, когда соответствующие функции интерпретируются ломаными линиями.

I.T. ARTEMYEV, E.I. ARTEMYEV, S.O. IVANOV

THE DEVELOPMENT OF THE THEORY OF UNIVARIATE PRODUCTION FUNCTION

Key words: *mathematic modeling, profit function, production function.*

This arcticle shows that in some cases methods of high mathematics for researches efficientcy of production are illustrated by graphic methods. The formulation and solution of the problem of the marginal product and the law of diminishing problem of a one-resource company in the case when the corresponding functions are interpreted by broken lines are considered.

Функцию, выражающую зависимость между стоимостью выпускаемой продукции и стоимостью суммарных затрат на ее производство, называют однофакторной производственной функцией [2]. Предполагается, что производственная функция удовлетворяет двум аксиомам [2]:

1. Хотя бы на части ее определения, называемой экономической областью E, эта функция неубывающая. В этой области производная $E'(x)$, называемая предельным продуктом, неотрицательна.

2. Вторая производная $E''(x)$ неположительна в области E.

Экономический смысл этих аксиом очевиден [2]. Зачем увеличивать затраты, если при этом выпуск продукции начнет снижаться? Под эти аксиомы, например, подходят функции вида

$$Q(x) = Ax^{\alpha}, \tag{1}$$

где A, α – неотрицательные параметры, причем $0 < \alpha < 1$; x – затраты на единицу объема выпускаемой продукции; $Q(x)$ – объем выпускаемой продукции.

Если все измеряем в денежных единицах, то придется считать, что $A = \alpha^{\gamma}$, где α – параметр, имеющий денежное измерение, и $\alpha + \gamma = 1$. Рассмотрим функцию типа (1) с применением MathCAD (рис. 1).

Будем считать, что p – цена ресурса, затраченного на выпуск единицы продукции; v – цена единицы выпускаемого товара при ее реализации. Считая эти параметры постоянными, рассмотрим функцию прибыли в виде

$$W(x) = vQ(x) - px. \tag{2}$$

Разумеется, задача заключается в том, чтобы исследовать функцию прибыли (2) на предмет ее оптимизации, т.е. определения ее максимума. Аналитически следует найти производную этой функции и приравнять ее нулю:

$$W'(x) = v\,Q'(x) - p = A\,\alpha\,x^{\alpha-1} - p = 0.$$

Отсюда легко определить точку экстремума:

$$x = \left(\frac{p}{A\,\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}} = \sqrt[\gamma]{\frac{A\,\alpha}{p}}\,.$$

Соответственно определяется и выгода по формуле (2). Обратимся к графической интерпретации этого экономического процесса. Рассмотрим графики функций выручки и затрат (рис. 2).

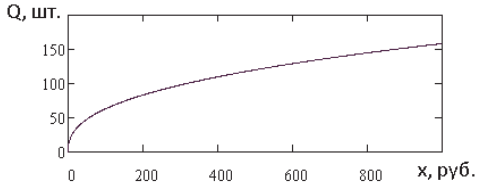


Рис. 1. Пример графика однофакторной производственной функции при $A = 10$, $\alpha = 4/10$

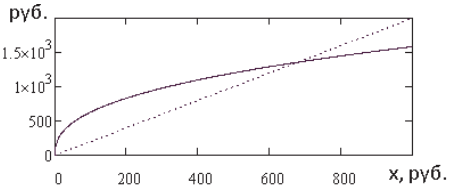


Рис. 2. Примеры графиков выручки (–) и функции затрат (…) при $p = 2$, $v = 10$

Легко видеть, что функция (2) представляет собой разность аппликат этих графиков. Точка кривой, через которую проходит касательная прямая, параллельная пунктирной линии, является точкой максимума прибыли. Рассмотрим график функции (2) на рис. 3.

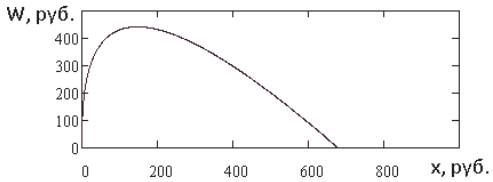


Рис. 3. Пример функции прибыли, построенной посредством MathCAD

Явно просматривается факт существования точки максимума прибыли, после которой увеличение производства изделий (товаров) приводит к падению прибыли. Определим значения величины производства и максимальной прибыли, используя MathCAD:

Программа определения координат
точки максимума функции прибыли

x := 400 Начальное приближение для поиска максимума

Given Блок поиска максимума прибыли

$0 \le x \le 500$ Ограничения для определения точки максимума

$xm := \text{Maximize}(W, x)$ Вычисление значения аргумента точки максимума

$xm = 147.361$ Вывод значения точки максимума

$W(xm) = 442.084$ Вычисление максимума прибыли

Предельный продукт и закон убывающей отдачи одноресурсной фирмы рассмотренного типа достаточно известны и исследованы [2]. Здесь мы обратимся к обобщению этой функции в виде ломаной линии, состоящей из отрезков прямых. Один из вариантов представлен на рис. 4. Графическое решение приведено на рис. 5.

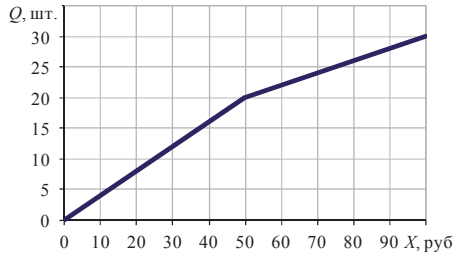


Рис. 4. Пример графика однофакторной производственной функции в виде ломаной линии

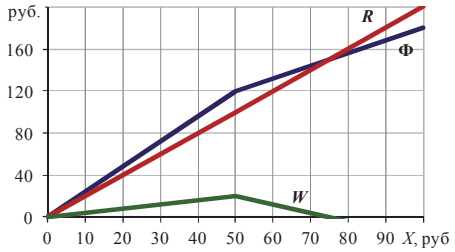


Рис. 5. Графики функций выручки (Ф), затрат (R) и прибыли (W) для ломаной линии

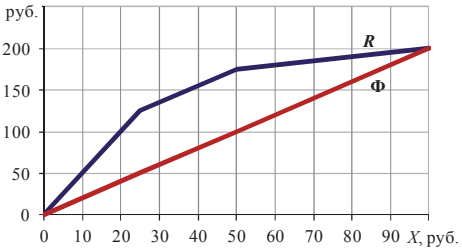


Рис. 6. Пример графической интерпретации производственной функции (R) и функции затрат (Ф) средствами Excel для «многоколенной» ломаной линии

Заметим, что отрезков прямых линий может быть счетное множество (рис. 6).

Таким образом, максимум прибыли достигается в точке пересечения отрезков, там, где очередной отрезок принимает угловой коэффициент, меньший углового коэффициента линии затрат. Интересным является случай, когда угловой коэффициент отрезка производственной функции равен угловому коэффициенту линии затрат. Тогда вдоль этого отрезка прибыль максимальна в любой его точке.

Литература

1. *Артемьев И.Т., Артемьев Э.И., Мацур Ф.К., Сорокин Г.М.* Компьютерные технологии для гуманитариев: практикум. Чебоксары: Новое время, 2010. 92 с.

2. *Баран В.И., Возяков В.И., Филиппов В.П.* Информационные технологии: учеб. пособие. Чебоксары: ЧКИ РУК, 2007. 212 с.

3. *Рагулина М.И.* Информационные технологии в математике: учеб. пособие. М.: Академия, 2008. 304 с.

АРТЕМЬЕВ ИОСИФ ТИМОФЕЕВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (it006@rambler.ru).

ARTEMYEV IOSIF TIMOFEEVICH – doctor of physics and mathematics sciences, professor, head of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АРТЕМЬЕВ ЭДУАРД ИОСИФОВИЧ – старший преподаватель кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

ARTEMYEV EDUARD IOSIFOVICH – senior teacher of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ИВАНОВ СЕРГЕЙ ОЛЕГОВИЧ – аспирант кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (v101-11@mail.ru).

IVANOV SERGEY OLEGOVICH – post-graduate student of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary

УДК 330.341.1:51
ББК 65.011в6

И.Т. АРТЕМЬЕВ, Э.И. АРТЕМЬЕВ, С.О. ИВАНОВ

АНАЛИЗ ФУНКЦИИ КОББА–ДУГЛАСА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АКСИОМ «РАЗУМНОЙ ЭКОНОМИКИ»

Ключевые слова: *математическое моделирование, процессы макроэкономики, двухфакторная производственная функция.*

Предлагаются модели, соответствующие аксиомам «разумной» экономики, обобщающие функцию Кобба–Дугласа. Представлена программа компьютерной математики, определяющая графическую интерпретацию и оптимизацию решения.

I.T. ARTEMYEV, E.I. ARTEMYEV, S.O. IVANOV

THE ANALYSIS OF COBB–DOUGLAS FUNCTION FROM THE VIEW OF «REASONABLE ECONOMICS»

Key words: *mathematic modeling, macroeconomics processes, production function*

The models relevant to the axiom of «reasonable» economy, generalizing the Cobb–Douglas production function are proposed. A program of computer mathematics determining the graphics interpretation and solution optimization is presented.

В настоящее время существует ряд обстоятельных руководств по методам и моделям в экономике, предназначенных для специалистов. Здесь мы ссылаемся на работу [3] и представляем свое обобщение и развитие применения производственной функции Кобба–Дугласа. Некоторые издания, например [2], ограничиваются определением: производственная функция Кобба–Дугласа имеет вид

$$Q(K, L) = AK^{\alpha}L^{\beta}, \qquad (1)$$

где Q – объем выпускаемой продукции; K – затраты капитала; L – объем трудовых затрат; A, α, β – положительные параметры. Данная функция является одной из простых форм задания макроэкономической двухфакторной производственной функции [2]. Согласно работе [2], в модели Кобба–Дугласа должно выполняться условие $\alpha + \beta = 1$. При этом, если переменные значения Q, K, L измеряются в денежных единицах, и левые и правые части функции Кобба–Дугласа (1) имеют одинаковую размерность при безразмерных значениях параметров. В дальнейшем мы откажемся от этого условия. Такие возможности для функции Кобба–Дугласа оговорены в работе [3]. В частности, там сказано: если $\alpha + \beta = 1$, то, как будет показано ниже, функция Кобба–Дугласа интерпретируется линейчатой поверхностью, при которой не выполняются аксиомы «разумной экономики» [2] (увеличение затрат не может привести к увеличению выпуска продукции). Данное утверждение также называют «золотым правилом» экономики. Оно зачастую определяется для производственной функции одной переменной. Здесь мы обобщаем его для производственной функции двух переменных на примере функции Кобба–Дугласа.

Обобщение аксиом «разумной экономики» на случай двухфакторной производственной функции:

1) хотя бы на части ее области определения, называемой экономической областью E, эта функция неубывающая. В этой области производные Q'_K, Q'_L неотрицательны;

2) вторые производные Q''_{KK}, Q''_{LL} положительны в области E.

Оказывается, что аксиомы «разумной экономики» будут удовлетворены в случае модели Кобба–Дугласа, если будем считать, что $A = \alpha^{\gamma}$. При этом для сохранения денежных размерностей слева и справа в формуле (1) примем условие $\alpha + \beta + \gamma = 1$. В таком случае величины α, K, L имеют размерности денежных единиц.

Рассмотрим, следуя предложенному обобщению, график функции Кобба–Дугласа (MathCAD) с указанными параметрами (рис. 1).

Из рис. 1 и аналитического выражения данной функции следует, что значение Q неограниченно возрастает с увеличением переменных K, L. Иначе говоря, объем выпускаемой продукции растет с увеличением затрат. Теперь обратимся к вопросу прибыли за счет увеличения затрат. Введем функцию прибыли W, которая учитывает цену q единицы выпускаемого продукта, а также тарифы затрат k, l на ресурсы K, L. Чистую прибыль выразим формулой

$$W(K, L) = qQ(K, L) - kK - lL. \qquad (2)$$

Рассмотрим график этой функции, построенный в MathCAD (рис. 2).

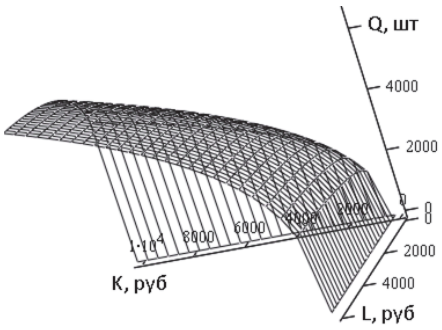


Рис. 1. График функции Кобба–Дугласа при $A = 100$, $\alpha = 1/3$, $\beta = 1/7$

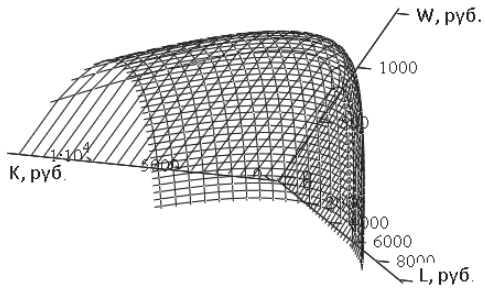


Рис. 2. График прибыли от выпускаемой продукции при $q = 0{,}5$, $k = 0{,}12$, $l = 0{,}2$

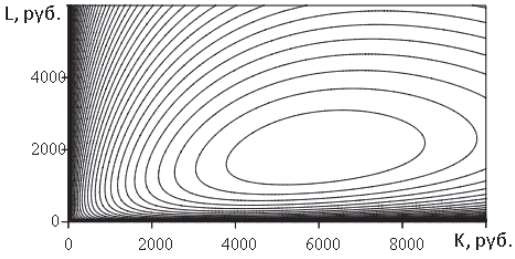


Рис. 3. Линии уровня функции прибыли

Из рис. 2 видно, что наблюдается максимум функции прибыли. Для подтверждения ее существования рассмотрим линии уровня этой функции (рис. 3).

Нас интересуют в первую очередь численные значения координат точки максимума функции прибыли. Для этого составим простую программу ее определения в MathCAD.

```
K := 1000   L := 1000   Начальное приближение к точке максимума функции прибыли

Given                   Блок поиска точки максимума

K ≥ 0   K ≤ 10000
                        Ограничения на переменные величины, т.е. область поиска точки максимума
L ≥ 0   L ≤ 10000

KL := Maximize(W,K,L)   Функция определения точки максимума
```

$$KL = \begin{pmatrix} 5.903 \times 10^3 \\ 1.898 \times 10^3 \end{pmatrix}$$ Вывод координат точки максимума

$$W(5903, 1898) = 1.392 \times 10^3$$ Значение максимальной прибыли

Из этого следует, что безграничные возможности увеличения производства продукции не означают, что при этом прибыль также безгранично возрастает. Прибыль увеличивается до некоторого предела. Дальнейшее увеличение производства «сжигается» затратами на ресурсы.

Заметим теперь, что в модели Кобба–Дугласа, когда имеет место условие $\alpha + \beta = 1$, не выполняются аксиомы «разумной экономики» [2]. Действительно, при условии $\alpha + \beta = 1$ функция (1) является линейчатой. Для убедительности перейдем к цилиндрическим координатам:

$$K = \rho \sin\varphi,\ L = \rho \cos\varphi, \qquad (3)$$

где ρ, φ – полярный радиус и полярный угол. Заменив переменные функции (1) в соответствии с (3), получим функцию Кобба–Дугласа при $\alpha + \beta = 1$ следующего вида:

$$Q(\rho, \varphi) = A\rho(\cos\varphi)^{\alpha}(\sin\varphi)^{\beta}.$$

Для любого значения $0 \le \varphi \le \pi/2$ функция $Q(\rho, \varphi)$ линейно зависит от полярного радиуса ρ. Соответственно, плоскость затрат $kK + lL$, в общем случае, не может пересечь ни одну из этих прямых, в том числе имеющих максимальный угловой коэффициент. Возможны частные случаи прохождения прямой линии из $Q(\rho, \varphi)$ с максимальным угловым коэффициентом в плоскости затрат.

Таким образом, данные ограничения функции Кобба–Дугласа определяют условия «разумной экономики».

Итак, предложенная нами методика компьютерной интерпретации функции Кобба–Дугласа позволяет графически и аналитически убедиться, в каких случаях двухфакторные модели макроэкономики соответствуют «разумным» моделям. Показано, что для «разумной» экономики модели типа Кобба–Дугласа реализуются при сумме показателей степеней аргументов, меньших единицы. Как отмечено в работе [5], ни Кобб, ни Дуглас не представили теоретических оснований постоянства α и β в разных секторах экономики. В начале статьи мы показали, как следует представлять суммы положительных параметров α и β функции Кобба–Дугласа, чтобы левые и правые части функции имели одинаковые денежные измерения.

Литература

1. *Артемьев И.Т., Артемьев Э.И., Мацур Ф.К., Сорокин Г.М.* Компьютерные технологии для гуманитариев: практикум. Чебоксары: Новое время, 2010. 92 с.

2. *Баран В.И., Возяков В.И., Филиппов В.П.* Информационные технологии: учеб. пособие. Чебоксары: ЧКИ РУК, 2007. 212 с.

3. *Просвентов Г.И.* Математические методы в экономике: задачи и решения: учеб.-метод. пособие. М.: Альфа-Пресс, 2008. 344 с.

4. *Рагулина М.И.* Информационные технологии в математике: учеб. пособие. М.: Академия, 2008. 304 с.

5. Функция Кобба–Дугласа // Wikipedia: свободная энциклопедия: сайт. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Функция_Кобба_–_Дугласа (дата обращения: 10.04.2013).

АРТЕМЬЕВ ИОСИФ ТИМОФЕЕВИЧ. **См. с. 256.**

АРТЕМЬЕВ ЭДУАРД ИОСИФОВИЧ. **См. с. 256.**

ИВАНОВ СЕРГЕЙ ОЛЕГОВИЧ. **См. с. 257.**

УДК 004.8.032.26:159.922.7.016.2
ББК 397:Ю983.402

Н.П. ДАНИЛОВА, Е.В. СЛАВУТСКАЯ, Л.А. СЛАВУТСКИЙ

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЛАДШИХ ПОДРОСТКОВ

Ключевые слова: *искусственные нейронные сети, обработка и анализ данных, вербальный и невербальный интеллект, личностные черты, младшие подростки.*

Работа выполнена на стыке информатики и психологии. Предлагается использование аппарата искусственных нейронных сетей для анализа данных психодиагностики. Формирование взаимосвязей между вербальным и невербальным интеллектом младших подростков зависит от эмоционально-волевых и коммуникативных качеств детей. Предлагаемый в работе нейросетевой анализ данных позволяет выявить новые закономерности и оценить существенно нелинейные связи между психологическими показателями. Такие взаимосвязи с трудом поддаются анализу традиционными статистическими методами.

N.P. DANILOVA, E.V. SLAVUTSKAYA, L.A. SLAVUTSKIY

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF THE PREADOLESCENT'S INTELLIGENT PARAMETERS

Key words: *artificial neural networks, data processing and analysis, verbal and non-verbal intelligence, personality traits, pre adolescents*

Work is done at the interface of computer science and psychology. To analyze the psychodiagnostic data the artificial neural networks are used. The formation of the relationships between of the pre adolescent's verbal and non-verbal intelligence essentially depends on the emotional, volitional and communicative traits. The neural network analysis can reveal new patterns and evaluate the significant nonlinear relationships between psychological characteristics. Such relationships are difficult to analyze by traditional statistical methods.

Искусственные нейронные сети (ИНС) в последние десятилетия находят все более широкое применение в задачах идентификации, прогнозирования, классификации данных, в том числе – статистических [3, 7, 8]. При этом широкого распространения в экспериментальной психологии нейронные сети (НС) пока не получили [1, 2]. Главная причина этого – неопределенность в процессе обучения НС и сложность в интерпретации полученных результатов. Для компьютерной обработки данных психодиагностики повсеместно используются традиционные статистические методы, такие как корреляционный, факторный анализ и т.д. [2] Нейросетевые алгоритмы, в отличие от традиционных, позволяют работать с ограниченной, неполной выборкой данных [7, 10]. При этом размерность данных не имеет решающего значения. Предлагаемый алгоритм обеспечивает наглядность и максимальную определенность в процессе обучения и использования НС, что крайне важно для психологов, не обладающих профессиональной математической подготовкой.

Построенная в работе НС имеет последовательную структуру, когда выход первого слоя служит входом второго слоя и т.д. Предполагаемое количество слоев – не более 3. В отличие от аппарата корреляционного и факторного анализа, такая архитектура может воспроизводить нелинейные зависимости между входными и выходными данными сети. Каждый слой сети имеет свою матрицу весов, которая состоит из весовых функций нейронов. Количество нейронов в первом слое соответствует количеству исходных психологических признаков, и на вход каждого нейрона в первом слое последовательно подаются численные значения соответствующих результатов тестирования по этому признаку. Количество выходов сети соответствует количеству индивидуальных характеристик испытуемых, взятых за основу анализа.

При оценке нелинейных взаимосвязей между психологическими признаками выходным параметром сети являются значения одного из признаков (например, коэффициента интеллекта IQ). В этом случае результатом обработки данных будут зависимости

(вычислительные модели) IQ от значений остальных данных тестирования. Такие зависимости могут быть получены для каждого респондента [5]. Аппарат ИНС впервые применяется для селективной оценки взаимосвязей психологических характеристик младших подростков. Этот возрастной период является одним из самых сложных и слабо изученных с психологической точки зрения. Он соответствует переходу учащихся из начальной школы в среднее ее звено, является преддверием пубертатного кризиса и началом коренных психофизиологических изменений [4]. Значимость и взаимосвязи психологических признаков в этот переходный период быстро меняются, что позволяет адекватно проверить устойчивость новых алгоритмов обработки данных психодиагностики, оценить сильно нелинейные связи между психологическими признаками.

В качестве базового для анализа используются результаты диагностики развития интеллектуальной сферы (коэффициент IQ) детей с помощью культурно-независимого интеллектуального теста Р.Б. Кеттелла. Динамика развития психологических характеристик личности учащихся исследуется с помощью 12-факторного опросника Р.Б. Кеттелла и Р.В. Коана CPQ (Childrens Personality Questionnaire) для детей 8-12 лет. Опросник предназначен для определения личностных особенностей школьников и содержит 12 шкал для измерения степени выраженности черт личности, которые Р.Б. Кеттелл называет конституциональными [9].

Для обработки и анализа использовались данные психодиагностики $N = 85$ школьников пятых классов общеобразовательной школы, обучающихся по стандартным программам. Обработка проводилась по всей выборке, а также по трем группам учащихся с разным уровнем развития интеллекта (IQ): IQ < 94 (29 школьников), 94 < IQ < 107 (27 школьников), IQ > 107 (29 школьников). В табл. 1 приведены коэффициенты корреляции IQ с личностными чертами.

Как следует из табл. 1, коэффициенты R корреляции IQ с личностными качествами оказываются достаточно низкими, т.е. данные традиционного корреляционного анализа не позволяют достоверно оценить то, какие личностные черты наиболее связаны с интеллектуальными показателями. Кроме того, низкий уровень R может говорить о том, что связь IQ с личностными чертами оказывается существенно нелинейной [5].

Таблица 1

Группы	**Коэффициенты корреляции качеств личности с IQ**											
	A	***B***	***C***	***D***	***E***	***F***	***G***	***H***	***I***	***O***	***Q*3**	***Q*4**
Все	0,01	0,11	–0,14	0,06	0,13	0,09	0,02	0,01	**0,23**	0,13	0,05	0,06
IQ < 94	0,13	0,19	0,09	–0,15	–0,07	–0,09	0,18	0,27	0,28	**–0,36**	**0,41**	–0,22
IQ < 107	0,12	–0,08	0,08	0,21	0,02	0,13	–0,15	–0,23	0,15	0,11	–0,19	0,27
IQ > 107	**–0,32**	–0,13	0,06	–0,09	0,13	0,19	–0,27	0,13	–0,01	0,10	–0,10	**0,33**

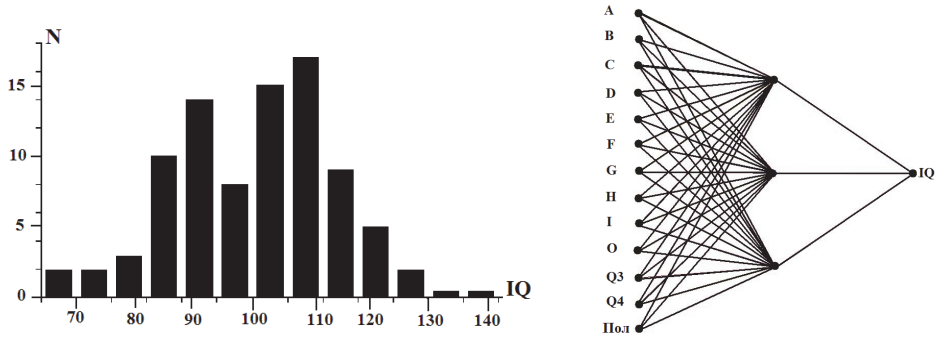
Примечание. Интерпретация личностных качеств в 12-факторном опроснике Р.Б. Кеттелла и Р.В. Коана (CPQ): *A* – общительность-замкнутость; *B* – абстрактное–конкретное мышление; *C* – эмоциональная стабильность–неустойчивость; *D* – возбудимость–уравновешенность; *E* – независимость–покорность; *F* – беспечность–озабоченность; *G* – высокая–низкая дисциплинированность; *H* – смелость–робость; *I* – мягкость–твердость; *O* – тревожность–спокойствие; *Q*3 – высокий–низкий самоконтроль; *Q*4 – напряженность–расслабленность. Полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции с уровнем значимости $p < 0,05$

На рис. 1 показаны гистограммы распределения учащихся по уровню IQ (*а*) и структура использованной нейронной сети (*б*).

Для реализации нейросетевого алгоритма использовалась аналитическая платформа Deductor (разработчик – ООО «Аналитические технологии» – BaseGroup Lab, г. Рязань, www.basegroup.ru). Обучение сети проводилось по всей указанной выше выборке – 85 человек и потребовало порядка 300 циклов (эпох). После этого строились зависимости (вычислительные модели) $IQ(X)$, где X – личностные черты каждого респондента.

Основное внимание было уделено связи IQ с вербальным интеллектом B (12-факторный опросник Р.Б. Кеттелла). Как следует из табл. 1, статистически зна-

чимая корреляционная связь между этими показателями отсутствует. На рис. 2 показаны построенные при помощи НС вычислительные модели $IQ(B)$ для учащихся с разным уровнем развития интеллекта.



а *б*

Рис. 1. Распределение учащихся по уровню IQ (*а*) и структура нейронной сети (*б*)

При этом на рис. 2 кроме зависимости $IQ(B)$ отдельных детей (кривые 2-4), приведены характерные вычислительные модели $IQ(B)$ для учащихся со среднестатистическими личностными качествами (сплошные кривые 1). Как видно из рис. 2, такие зависимости носят монотонно возрастающий нелинейный характер, что не противоречит общепринятым психологическим данным. Важным является и тот факт, что диапазон изменения IQ в этих зависимостях соответствует разбросу IQ в пределах исследуемой группы младших подростков.

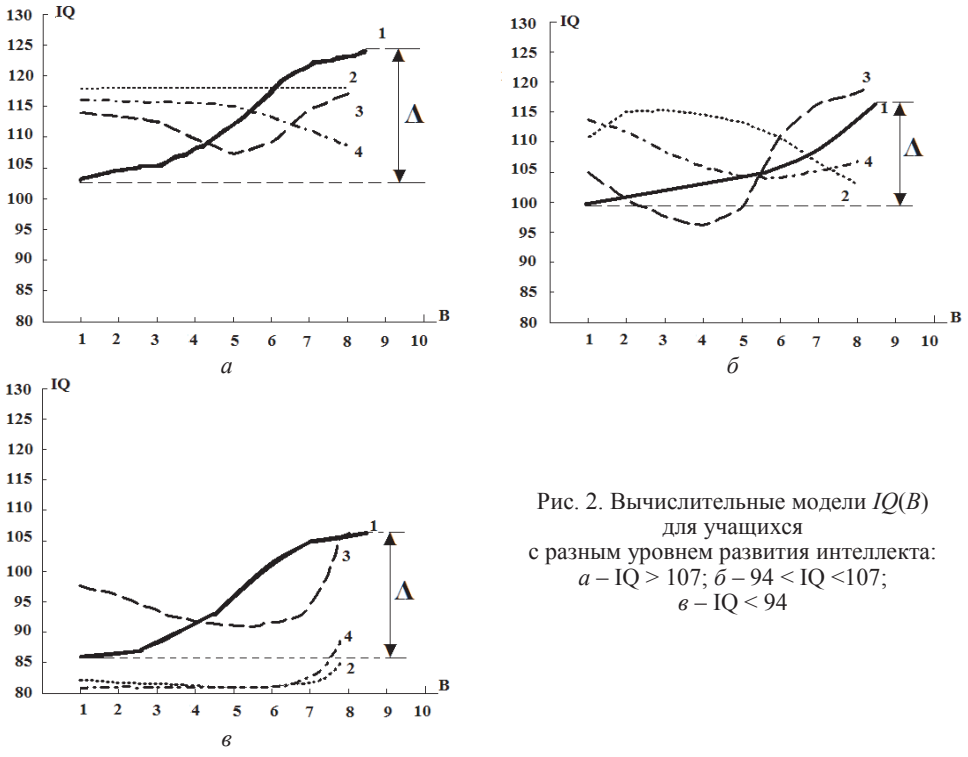


Рис. 2. Вычислительные модели $IQ(B)$ для учащихся с разным уровнем развития интеллекта: *а* – IQ > 107; *б* – 94 < IQ <107; *в* – IQ < 94

Для отдельных детей зависимости *IQ*(*B*) носят самый разнообразный характер. В ряде случаев связь вербального и невербального интеллекта может быть отрицательной (уменьшение IQ с ростом B)

Следовательно, связь вербального и невербального интеллекта по результатам нейросетевого анализа носит сильнонелинейный характер и зависит от остальных личностных черт учащихся.

Для численной оценки взаимосвязи вербального и невербального интеллекта каждого отдельного учащегося может быть использован диапазон Δ изменения *IQ*(*B*) (см. рис. 2). В табл. 2 приведены значения коэффициента корреляции *R* между Δ и значением личностных черт для всей выборки из 85 респондентов. Как видно из табл. 2, величина Δ, характеризующая *IQ*(*B*), оказывается статистически связанной с некоторыми личностными чертами. Среди этих черт есть коммуникативные (*A*, *E*), волевые (*G*, *Q*3) и эмоциональные (*Q*4). Наиболее высокий коэффициент корреляции $R = 0{,}48$ между Δ и *E* (незавимость – покорность в общении) имеет уровень значимости для двухстороннего критерия $p < 0{,}0005$. На практике это означает наличие устойчивой связи с очень высокой степенью достоверности. Это позволяет утверждать, что соотношение между вербальным и невербальным интеллектом наиболее тесно связано именно с этой (*E*) личностной чертой школьника.

Таблица 2

Выборка	**Коэффициенты корреляции качеств личности с Δ**											
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*I*	*O*	*Q*3	*Q*4
85 шк.	**0,21**	–0,05	0,15	0,05	**0,48**	0,17	**–0,27**	0,09	–0,03	0,04	**–0,20**	**0,23**

Примечание. Полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции с уровнем значимости $p < 0{,}05$.

Таким образом, использование нейросетевого анализа наряду с традиционными статистическими методами позволяет проводить селективную оценку данных психодиагностики для каждого респондента, а также оценить нелинейные связи между психологическими показателями [5, 6]. Для психологов представляется актуальным то, что нейросетевые алгоритмы позволяют в динамике (с учетом быстрого развития и изменения психологических показателей детей в этом возрасте) проводить анализ и строить вычислительные модели взаимосвязей между различными психологическими и личностными характеристиками.

Авторы выражают признательность профессору В.С. Абрукову за помощь в выборе программного обеспечения и обработке данных.

Литература

1. *Арзамасцев А.А., Зенкова Н.А.* Моделирование в психологии на основе искусственных нейронных сетей. Тамбов: ИМФИ ТГУ им. Г.Р. Державина, 2003.

2. *Воробьев А.В*. Обзор применения математических методов при проведении психологических исследований // Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2010. № 2(10).

3. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2001.

4. *Поливанова К. Н*. Психология возрастных кризисов: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: ИЦ «Академия», 2000.

5. *Славутская Е.В., Абруков В.С., Славутский Л.А.* Интеллектуальный анализ данных психодиагностики школьников предподросткового возраста // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 226-231.

6. *Славутская Е.В., Славутский Л.А.*Использование искусственных нейронных сетей для анализа гендерных различий младших подростков // Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2012. Т. 5, № 23. С. 4. URL: http://www.psystudy.ru/index.php/num/2012v5n23/684-slavutskaya23.html.

7. *Хайкин С*. Нейронные сети: полный курс: 2-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2006.

8. *Baxt W.G.* Complexity, chaos and human physiology: the justification for non-linear neural computational analysis // Cancer Lett. 1994. Vol. 77, № 2-3. P. 85-93.

9. *Cattell R.B.* Advanced in Cattelian Personality Theory. Handbook of Personality. Theory and Research. N.Y.: The Guilford Press, 1990.

10. *Dorrer M.G., Gorban A.N., Kopytov A.G. Zenkin V.I.* Psychological intuition of neural networks // Proceedings of the World Congress on Neural Networks'95. Washington, 1995. Juli. P. 193-196.

ДАНИЛОВА НАТАЛЬЯ ПАВЛОВНА – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Чебоксары, Россия (natusia.dan@rambler.ru).

DANILOVA NATALIA PAVLOVNA – master of Management and Informatics in Technical Systems Chair, Chuvash State University, Cheboksary.

СЛАВУТСКАЯ ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии и социальной педагогики, Чувашский государственный педагогический университет, Чебоксары, Россия (slavutskayaev@gmail.com).

SLAVUTSKAYA ELENA VLADIMIROVNA – candidate of psychological sciences, associated professor of Psychology and Social Pedagogic Chair, Chuvash State Pedagogical University, Russia, Cheboksary.

СЛАВУТСКИЙ ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Чебоксары, Россия (las_co@mail.ru)

SLAVUTSKIY LEONID ANATOLYEVICH – doctor of physics and mathematical sciences, professor of Management and Informatics in technical systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 65.011.56
ББК 32.97

Т.В. ЗАМКОВА, А.В. РЕШЕТНИКОВ, Н.А. ГАЛАНИНА

СПОСОБЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ В АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ

Ключевые слова: *программные агенты, агентно-ориентированные технологии, автоматизированные системы управления, диаграмма последовательности, управление вузом, многоагентная система.*

Статья посвящена особенностям взаимодействия агентов в многоагентной системе управления вузом. На основе диаграмм последовательности взаимодействия объектов рассмотрены схемы взаимодействий агента с пользователем и агента с агентом.

T.V. ZAMKOVA, A.V. RESHETNIKOV, N.A.GALANINA

WAYS OF INTERACTING AGENTS IN THE AGENT-ORIENTED SYSTEM OF UNIVERSITY MANAGEMENT

Key words: *software agents, agent-oriented technology, automated control systems, a sequence diagram, university management, multiagent systems.*

The article is devoted to the peculiarities of the interaction of agents in multi-agent system of university management. Based on sequence diagrams interaction of objects considered scheme of interactions with the user agent and the agent with the agent.

В сложных системах, к которым относится система управления вузом, могут возникать проблемы по координации взаимодействия отдельных подсистем. Для их решения могут быть использованы агентно-ориентированные технологии. В соответствии с методологией агентно-ориентированной парадигмы сложные задачи решаются не централизованно, а путем разбиения задачи на составляющие части, выполняемые агентами. При этом система становится многоагентной. Ранее нами была предложена структура агента в автоматизированной системе управления вузом, являющаяся однотипной и состоящая из блоков диспетчера, координатора и анализатора [1]. В данной статье рассмотрены особенности взаимодействий агента с пользователем и агента с другими агентами.

Рассмотрим схему взаимодействия агента с пользователем. После успешной авторизации в системе управления вузом пользователь попадает в личный кабинет. Личный

кабинет содержит следующие разделы: персональные данные пользователя, план работы, фактически выполненная работа. Разделы заполняются данными из базы данных автоматически. Далее из кабинета пользователя автоматически вызывается конструктор агента пользователя (рис. 1). Конструктор создает объект в памяти и заполняет свойства объекта значениями, полученными из базы. Если объект в момент входа пользователя в систему уже создан вышестоящим агентом, то вызова конструктора не происходит и работа продолжается с созданным объектом по ссылке. Вызов диспетчера агента пользователя [1] из личного кабинета переводит агента в активное состояние [2]. В активном состоянии агент выполняет определенные действия. При активации агента прежде всего вызывается метод агента – диспетчер [1]. В качестве аргумента диспетчеру передается текущая дата, диспетчер обращается к базе данных и возвращает в личный кабинет актуальные задания на текущую дату посредством обращения к информации о запланированных работах.

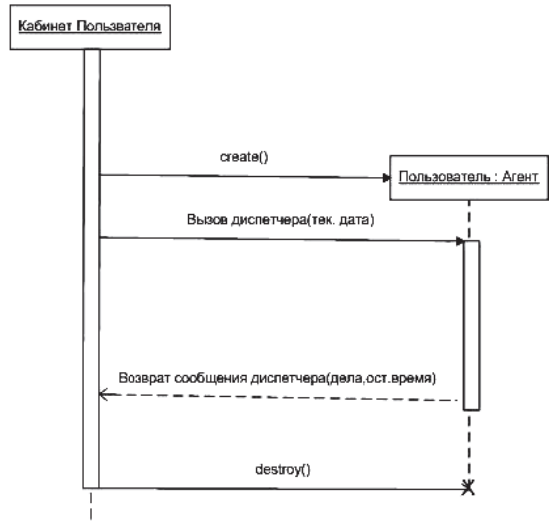


Рис. 1. Диаграмма последовательности взаимодействия пользователя со своим агентом

Все сведения и изменения о личной информации, о плане и фактически выполненных работах пользователь вносит в базу данных посредством личного кабинета. Перед завершением работы пользователя с личным кабинетом вызывается деструктор созданного агента (если в этот момент он не активен).

Организационная структура системы управления высшими учебными заведениями практически одинакова во всех российских вузах. Она имеет линейную структуру управления. Линейная организационная структура является иерархической структурой управления. В простейшем виде она состоит из руководителя и нескольких подчиненных работников, крупные же предприятия могут иметь до 3-4 и даже более уровней иерархии [3]. Особенностью линейной структуры является то, что у одного подчиненного не может быть больше одного непосредственного начальника. В связи с этим в предлагаемом решении предусмотрена возможность взаимодействия подчиненного с его непосредственным начальником.

Агент-начальника должен иметь возможность вызвать агента-подчиненного, даже если пользователя нет на тот момент в системе. Рассмотрим взаимодействие двух агентов: подчиненного и начальника (рис. 2).

На рис. 2 видно, что создание агента-подчиненного происходит аналогично созданию агента из личного кабинета. Отличием данной ситуации является то, что на следующем этапе происходит вызов координатора агента [1]. Координа-



Рис. 2. Диаграмма последовательности взаимодействия агента-начальника и агента-подчиненного

тор получает задание, сформулированное в виде просьбы либо предложения от вышестоящего агента, и на основе анализа текущей загруженности и специфики задания принимает решение об отказе или обещании выполнения задания. Необходимость вызова агента-подчиненного агентом-начальником обусловлена невозможностью начальника анализировать загруженность каждого подчиненного сотрудника. В случае получения отказа либо согласия агент-начальник вызывает агента следующего своего непосредственного подчиненного, собирая таким образом статистику. Окончательное решение об отказе либо обещании, а также о принудительном назначении задания принимается пользователем при входе в личный кабинет.

Все сведения о ходе выполнения работы (в том числе количество отказов и согласий), а также о качестве выполненной работы заносятся в базу данных. На основе этих сведений анализатор информирует пользователя либо вышестоящего агента о выполнении плана, составляет рейтинги по показателям, а также создает план-отчет о работе с определенной периодичностью.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что для описания многоагентной автоматизированной системы управления вузом достаточно реализовать взаимодействие агента с пользователем и взаимодействие агента-начальника и агента-подчиненного. Все остальные способы взаимодействия агентов можно реалиизовать с использованием вышеприведенной схемы.

Литература

1. *Замкова Т.В., Решетников А.В.* Структурная схема агента в автоматизированной системе управления вузом // Инновации в образовательном процессе: сб. тр. XIX науч.-практ. конф. / Чебоксарский политехн. ин-т (филиал) Московского гос. открытого ун-та. Чебоксары: Изд-во ЧПИ(ф) МГОУ, 2013.

2. *Киммел П.* UML. Основы визуального проектирования. Универсальный язык программирования / пер. с англ. Е.А. Кедрова. М.: НТ Пресс, 2008. 272 с.

3. Стратегический менеджмент [Электронный ресурс]. URL: http://corpsys.ru.

ЗАМКОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА – старший преподаватель кафедры информационных технологий и программирования, Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета имени В.С. Черномырдина, Россия, Чебоксары (tatyana-zamkova@yandex.ru).

ZAMKOVA TATYANA VLADIMIROVNA – senior teacher of Information Technologies and Programming Chair, Cheboksary Polytechnic Institute (Branch) of the Moscow State Open University named after V.S. Chernomyrdin, Russia, Cheboksary.

РЕШЕТНИКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат химических наук, доцент кафедры информационных технологий и программирования, Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета имени В.С. Черномырдина, Россия, Чебоксары (alresh@list.ru).

RESHETNIKOV ALEKSEY VLADIMIROVICH – candidate of chemical sciences, associate professor of Information Technologies and Programming Chair, Cheboksary Polytechnic Institute (Branch) of the Moscow State Open University named after V.S. Chernomyrdin, Russia, Cheboksary.

ГАЛАНИНА НАТАЛИЯ АНДРЕЕВНА – доктор технических наук, профессор кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (galaninacheb@mail.ru).

GALANINA NATALIYA ANDREEVNA – doctor of technical sciences, professor of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 004.9:51+519.872
ББК 3973.3+В175.3

С.А. ИВАНОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППИРОВОК ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В SIMEVENTS

Ключевые слова: *имитационное моделирование, система массового обслуживания, группировка объектов, Simulink, SimEvents, ERP, CRM.*

Рассмотрены задача моделирования групповых объектов в системах массового обслуживания и задача подсчета загрузки системы в среде SimEvents. Данная модель позволяет оптимально загрузить систему путем перегруппировки сервисов.

S.A. IVANOV

SIMULATION OF GROUP OBJECTS IN THE QUEUING SYSTEMS

Key words: *Discrete-event simulation, queuing system, group objects, Simulink, SimEvents, ERP, CRM.*

The article describes group objects simulation in the queuing system and server load estimation. The present model allows to find out the best mode of operation of the system by regrouping servers.

Современная ERP-система (Enterprise resource planning systems – программное обеспечение, реализующее стратегию ERP – развитие методики MRP II) включает MRP II (manufacturing resource planning – планирование производственных ресурсов), FRP (Finance Requirements Planning – планирование финансовых ресурсов) и логистику. Этим методологиям можно поставить в соответствие следующие подходы в имитационном моделировании: MRP II – дискретно-событийное моделирование, FRP – системная динамика и для логистики – агентное моделирование [4, 5]. Классическая дискретно-событийная модель не позволяет описать поведение объектов системы, эта возможность реализована в агентном моделировании. Тем не менее это не мешает нам посмотреть на решение этой проблемы с другой стороны: если объекты не могут «управлять» собой (т.е. не имеют собственного поведения), то система будет «управлять» ими, имитируя поведение отдельных объектов в зависимости от их свойств, задаваемых при моделировании. Такой подход в решении задачи позволяет несколько расширить область применения дискретно-событийного моделирования на логистику и сделать модель более «объемной» и содержательной. Различные подходы в построении архитектуры функциональных схем и методы моделирования динамических по структуре систем описаны в [1-3].

В статье рассматривается задача оптимальной группировки сервисов в системе, по которой перемещаются группировки объектов (группировка [объектов] – группа объектов обслуживания, перемещающаяся по системе как единое целое). Моделирование группировки объектов имеет двойственный характер, поскольку группировка одновременно и состоит из заявок, и сама является заявкой.

В работе модель группировки рассматривается на примере модели кафе со столами с различным количеством мест. Задача состоит в определении оптимального количества мест в зале и их распределения между столами. Логистика реализуется по следующей схеме: если для группы посетителей нет подходящего стола, она занимает стол большей вместимости.

1. Задача подсчета количества объектов в системе (зале). В один момент времени в зал может зайти одна группировка, а в другой – выйти совсем другая, при этом посмотреть, какие именно группировки находятся в сервисе в данный момент, невозможно. В любой момент времени известен объем группировки, которая вошла и вышла из зала. Рассмотрим задачу для зала с 4 столами по 4 места за каждым.

В качестве инструмента выбран пакет SimEvents [7] (подсистема для дискретно-событийного моделирования среды Simulink) как эффективное средство моделирования

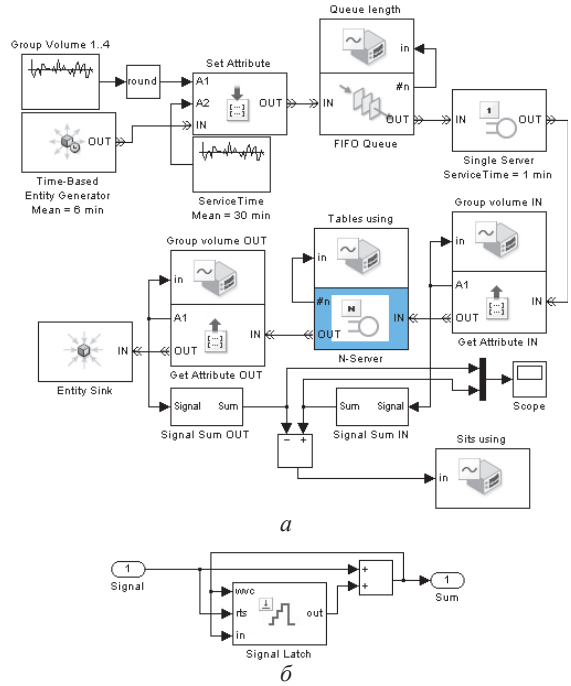


Рис. 1. Функциональные схемы модели зала (*а*) и сумматора Signal Sum (*б*) в SimEvents

систем массового обслуживания [6]. Моделью группировки может служить одиночный объект с определенным для него свойством *V*, формально обозначающим количество фиктивных объектов, которое содержит группировка. Для построения модели группировки используются два блока: генератор *Time-Based Entity Generator* и блок установки атрибутов *Set Attribute*. Моделью зала (параллельно работающими сервисами) является блок *N-Server* с вместимостью равной 4. Моделью менеджера по залу будет блок *Single Server*. Общая схема зала представлена на рис. 1.

Задача определения количества человек в зале сводится к следующей: суммирование всех фиктивных объектов группировок, вошедших в зал, и вычитание из полученной суммы всех членов группировок, вышедших из зала. Для решения этой задачи потребуется собрать сумматор, подсчитывающий общее количество фиктивных объектов во всех группах.

Все блоки на функциональной схеме синхронизированы во времени, и любое событие, например появление объекта, изменение длины очереди, перемещение объекта между блоками и т.п., отражается на дискретном времени каждого блока. Это означает, что для корректной работы сумматоров на входе и выходе из системы необходимо обеспечить реагирование только на контекстно-зависимые события и рассинхронизировать время моделирования сумматоров (для чего нужно снять соответствующую галочку в окне настроек сумматора). Схема сумматора также представлена на рис. 1.

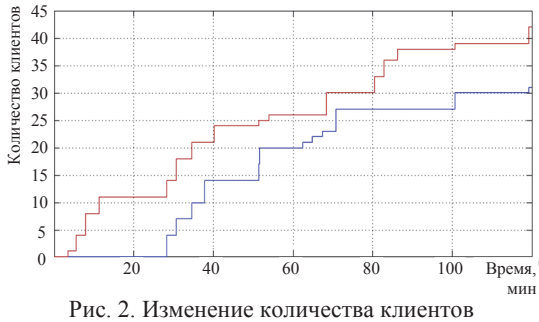


Рис. 2. Изменение количества клиентов на входе и выходе из зала во времени

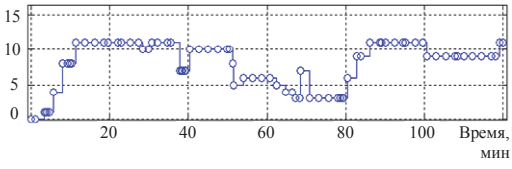


Рис. 3. Изменение количества занятых мест в зале во времени

Критерием адекватности модели является условие не переполнения зала в любой момент времени – количество людей в зале не должно превышать общее количество доступных мест на сервисах – 16. Результаты моделирования приведены ниже на рис. 2 и 3.

2. Задача логистики и оптимального планирования состава сервисов (зала). В зале установлены столы различной вместимости: 3 двухместных, 5 трехместных и 3 четырехместных стола. Группировки появля-

ются в среднем каждые 5 мин, время обслуживания за столами – в среднем 30 мин, менеджер обслуживает группировку, направляя к столу, за 1 мин. В случае занятости стола подходящей вместимости группировка занимает стол большей вместимости. При этом оставшиеся свободные места не могут быть заняты, пока группировка не освободит стол. Модель зала для решения данной задачи представлена на рис. 4.

Поскольку все группировки объектов находятся в одном потоке и стоят в одной очереди, необходимо обеспечить возможность пропускать вперед группировки меньшей вместимости, если для них освободились подходящие столы. Для решения этой задачи необходимо разбить поток на три параллельные очереди с последующей возможностью их слияния (рис. 4 средняя часть схемы в направлении справа налево).

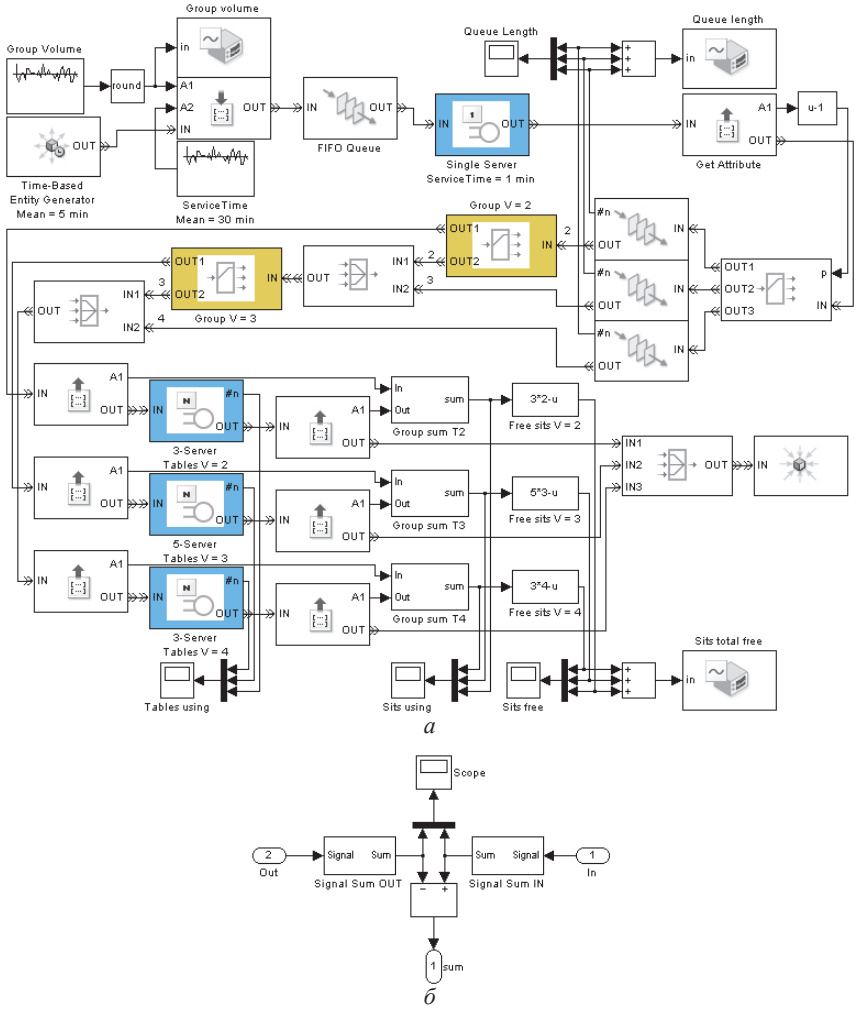


Рис. 4. Функциональные схемы модели зала (задача логистики) (*а*) и подсистема Group Sum (*б*) в SimEvents

Выбирая различные соотношения типов столов в зале, можно путем моделирования определить оптимальный режим функционирования системы с учетом логистики перемещения объектов в системе.

В статье показано, как моделировать групповые объекты в среде SimEvents и как посчитать загрузку системы. Данная модель позволяет оптимально загрузить систему

путем перегруппировки сервисов. Рассмотренный пример построения архитектуры модели системы с учетом логистики перемещения группировок объектов может быть обобщен на задачи планирования оптимальной загруженности рабочих центров и другие задачи производственного менеджмента.

Литература

1. *Горский П.В.* Дискретно-событийное моделирование систем массового обслуживания в SimEvents // Модернизация, инновации и актуальные проблемы экономики: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. (Чебоксары, апрель 2011 г.) / Чебоксарский ин-т экономики и менеджмента филиал Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. Чебоксары, 2011. С. 211-220.

2. *Горский П.В.* Дискретно-событийное моделирование систем с динамическим обслуживанием в SimEvents // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. Вып. 12. С. 231-238.

3. *Горский П.В.*, *Наумовец М.А.* Имитационное моделирование систем массового обслуживания с динамической структурой в приложении SimEvents // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2009. № 1(61). С. 44-51.

4. Использование Моделирования – AnyLogic Simulation Software [Электронный ресурс] // Multimethod Simulation Software and Solutions: сайт. URL: http://www.anylogic.ru/use-of-simulation.

5. Средства имитационного моделирования бизнес-процессов [Электронный ресурс] // Менеджмент.com.ua: интернет-портал для управленцев. URL: http://www.management.com.ua/ims/ims135.html (дата обращения: 01.03.2013).

6. *Таха Х.А.* Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. М.: Вильямс, 2005. 912 с.

7. SimEvents Documentation [Электронный ресурс] // MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing: сайт. URL: http://www.mathworks.com/help/simevents.

ИВАНОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – аспирант кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (sergio_joanson@mail.ru).

IVANOV SERGEY ANATOLYEVICH – post-graduate student of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary

УДК 004.9:51+519.872
ББК 3973.3+В175.3

С.А. ИВАНОВ

МОДЕЛЬ СЕРВИСА С КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМОЙ ВМЕСТИМОСТЬЮ В СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В SIMEVENTS

Ключевые слова: *имитационное моделирование, система массового обслуживания, группировка объектов, Simulink, SimEvents, ERP, CRM.*

Рассмотрена архитектура функциональной схемы модели сервиса с динамической контекстно-зависимой вместимостью. Параллельно представлена модель управления очередью, позволяющая обеспечить большую загрузку сервиса и исключающая ситуацию блокировки очереди.

S.A. IVANOV

THE MODEL OF A SERVER WITH THE CONTEXT-DEPENDENT CAPACITY IN THE QUEUING SYSTEMS

Key words: *discrete-event simulation, queuing system, group objects, Simulink, SimEvents, ERP, CRM.*

The article describes the architecture of a server with dynamic capacity, which depends on type of the unit in service. The model that provides maximal load of server and prevents queue block is also shown in the article.

В современном имитационном моделировании применяются три основных подхода: дискретно-событийное моделирование, системную динамику и агентное моделирование [4]. Экономико-математические модели, в содержание которых входят материальные, финансовые и социальные факторы, требуют применения различных подхо-

дов на соответствующем модельном уровне. Производственно-технологические модели традиционно рассматриваются как системы массового обслуживания, а следовательно, здесь необходимо использовать дискретно-событийное моделирование. Финансовые модели хорошо вписываются в рамки системной динамики. Для имитационного моделирования трудовых ресурсов может быть применен агентный подход [5].

SimEvents (подсистема среды Simulink) является эффективным средством дискретно-событийного моделирования систем массового обслуживания [7]. Архитектура модели, реализованная в этой среде, описывается построением функциональной схемы из стандартных блоков. Состав библиотеки стандартных блоков ориентирован на бóльшую универсальность, что позволяет существенно расширить область применимости данного средства моделирования. Однако обратной стороной универсальности является более низкий уровень абстракции функциональности стандартных блоков. В результате получаем, что требуемый уровень абстракции поведения моделируемой системы необходимо собирать вручную, путем построения функциональных схем инструментальных моделей [6]. В работе рассматривается модель сервиса, функционирование которого контекстно зависит от типа и размера группировки объектов, обслуживаемой в данный момент на сервисе.

Стандартная библиотека SimEvents имеет два блока, содержащих свойство *вместимость* (*capacity*): модель очереди *Queue* и параллельный сервис *N-Server*. Вместимость задается один раз, через параметры соответствующего блока, и не может изменяться во время моделирования. Различные подходы в построении архитектуры функциональной схемы и методы моделирования динамической вместимости очереди и сервисов описаны в [1-3]. Вместимость сервиса традиционно определятся как доступное количество параллельно работающих сервисов. В SimEvents нет возможности собирать объекты в группировки так, чтобы они вели себя как единое целое. Моделью группировки в этом случае может служить одиночный объект с определенным для него свойством V, формально обозначающим количество фиктивных объектов, которое содержит группировка. Но тогда сервис не сможет отличить объект от группировки с фиктивными объектами. В результате, например, параллельно работающий сервис вместимостью 4 объекта сможет обслуживать 4 группировки с 5 объектами каждая, т.е. одновременно сразу 20 фиктивных объектов. Ниже рассматривается архитектура модели, позволяющая управлять вместимостью сервиса в зависимости от того, какой именно объект сейчас находится на сервисе, а также разделять объекты по типам (рис. 1).

Пусть имеется один четырехместный сервис. Если группировка объектов занимает сервис, то оставшиеся незанятые места остаются свободными и не могут быть заняты, пока группировка не освободит сервис. В случае если сервис займет объект, не являющийся группировкой (группировка из одного объекта), оставшиеся свободные места остаются доступными для других негрупповых объектов. Групповой объект не может занять сервис, на котором в данный момент времени обслуживаются другие объекты, независимо от того, есть ли в нем достаточное количество свободных мест или нет.

При построении модели системы необходимо решить несколько задач: реализация двух моделей поведения – группировки объектов и одиночные объекты; управление очередью; управление доступом на сервер.

Задача разделения объектов на два типа решается созданием двух отдельных генераторов *Time-Based Entity Generator* и последующим объединением объектов в общий поток перед сервисом. Один тип объектов от другого отличает атрибут *Volume* – одиночный объект также является группировкой со значением атрибута, равным 1. Модель логистики доступа к сервису, описанная выше, реализована на функциональной схеме (рис. 2).

Алгоритм работы менеджера сервиса *Sit Manager*:

```
ЕСЛИ (Входящая группа V=1) И (Прошедшая V=1) ИЛИ (Сервис пуст N=0)
ТОГДА Вход разрешён (сигнал vc изменяется)
ИНАЧЕ Вход запрещён (сигнал vc фиксирован)
```

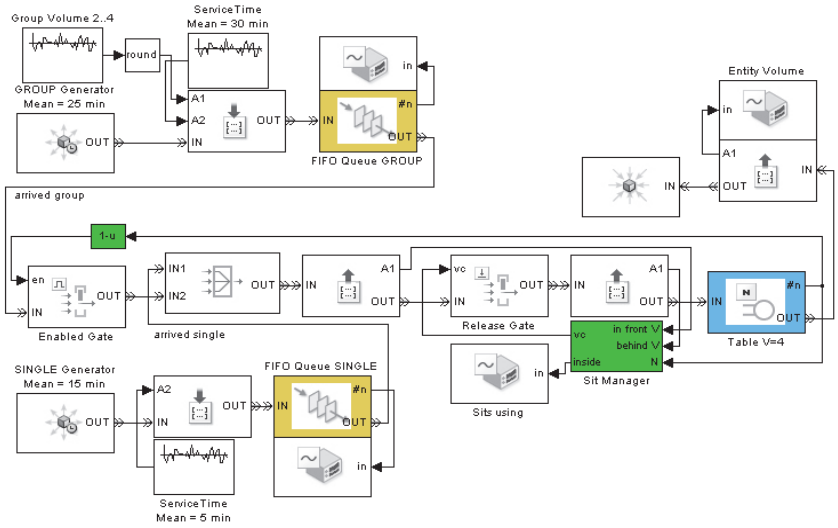


Рис. 1. Функциональная схема сервиса с контекстно-зависимой вместимостью в SimEvents

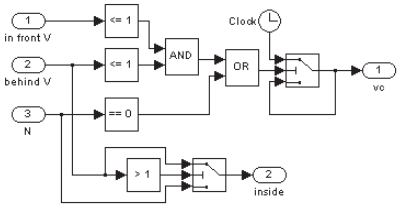


Рис. 2. Подсистема управления доступом к сервису *Sit Manager* в SimEvents

Модель доступа к сервису работает совместно с блоком *Release Gate*, пропускающим ровно один объект при изменении сигнала, подаваемого на порт *vc*. Поскольку содержание управляющего сигнала в модели не используется, в качестве этого сигнала можно взять время моделирования.

Архитектура модели также позволяет вести учет количества обслуженных заявок, включая фиктивные объекты (рис. 3).

Если для объектов и их группировок собрать общую очередь, то может возникнуть ситуация, при которой группировка в очереди будет блокировать объекты позади себя, поскольку не может быть обслужена на сервисе, хотя доступные места для объектов позади нее на сервисе имеются. Решением этой задачи является следующая логистическая схема: для группировок и объектов создаются две параллельные очереди; одиночные объекты всегда имеют приоритет перед группировками, поскольку больше загружают сервис.

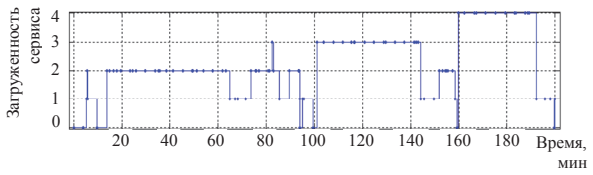


Рис. 3. Изменение распределения загруженности сервиса во времени

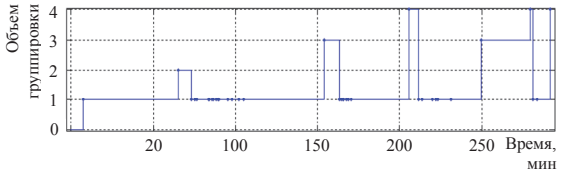


Рис. 4. Изменение объема обслуживаемых объектов во времени

Модель управления очередью реализуется двумя блоками (рис. 1): блок *Enable Gate* управляет доступом сервиса для группировок; управляющим сигналом является условие «сервис – пуст». Распределение объектов по типам во времени приведено на рис. 4.

Предложенная архитектура модели динамической контекстно-зависимой вместимости сервиса может быть реализована для произвольного количества типов и содержания

объектов. Модель управления очередью, обеспечивающая большую загрузку сервиса и исключающая ситуацию блокировки очереди, может быть обобщена на другие логистические схемы разгрузки очереди.

Литература

1. *Горский П.В.* Дискретно-событийное моделирование систем массового обслуживания в SimEvents // Модернизация, инновации и актуальные проблемы экономики: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. (Чебоксары, апрель 2011 г.) / Чебоксарский ин-т экономики и менеджмента филиал Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. Чебоксары, 2011. С. 211-220.

2. *Горский П.В.* Дискретно-событийное моделирование систем с динамическим обслуживанием в SimEvents // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. Вып. 12. С. 231-238.

3. *Горский П.В.*, *Наумовец М.А.* Имитационное моделирование систем массового обслуживания с динамической структурой в приложении SimEvents // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2009. № 1(61). С. 44-51.

4. Использование Моделирования – AnyLogic Simulation Software [Электронный ресурс] // Multimethod Simulation Software and Solutions: сайт. URL: http://www.anylogic.ru/use-of-simulation (дата обращения: 01.03.2013).

5. Средства имитационного моделирования бизнес-процессов [Электронный ресурс] // Менеджмент.com.ua: интернет-портал для управленцев. URL: http://www.management.com.ua/ims/ims135.html (дата обращения: 01.03.2013).

6. *Таха Х.А.* Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. М.: Вильямс, 2005. 912 с.

7. SimEvents Documentation [Электронный ресурс] // MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing: сайт. URL: http://www.mathworks.com/help/simevents.

ИВАНОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ. См. с. 270.

УДК 621.391.037.37
ББК 3811.3

В.А. ПЕСОШИН, Н.Н. ИВАНОВА

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ОШИБОК ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ МАРКОВСКИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Ключевые слова: *цифровая обработка сигналов, марковские сигналы, система счисления в остаточных классах.*

Разработан алгоритм цифровой обработки марковских сигналов, который позволяет обнаруживать и устранять отказ, если он произошел в одном из каналов обработки данных в системе остаточных классов (СОК).

V.A. PESOSHIN, N.N. IVANOVA

ALGORITHM OF SINGLE ERROR DETECTING AND CORRECTION IN DIGITAL PROCESSING OF MARKOV'S SIGNALS IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

Key words: *digital signal processing, Markov's signals, residua number system.*

The algorithm of Markov's signals digital processing is synthesized, which allows to find and correct the failure if it occurred in one of the data processing channel in residua number system (RNS).

Правильный выбор корректирующего кода позволяет заметно снизить требования к надежности каналов связи, сделать их более простыми и дешевыми [2]. Известно, что различные корректирующие коды на основе позиционной системы счисления позволяют эффективно исправлять лишь случайные ошибки, возникающие в процессе хранения или передачи информации. Однако при этом не контролируется правильность выполнения арифметических операций [2]. В отличие от позиционных систем счисления непозиционная СОК облает свойством отказоустойчивости кодов, ко-

торое опирается на их избыточность и позволяет находить и исправлять ошибки, возникающие при выполнении арифметических операций.

Любое позиционное число A в СОК заменяется вычетами ($\alpha_1, \alpha_2,\ldots, \alpha_v$) по выбранной системе взаимно простых оснований ($N_1, N_2, \ldots, N_v$), которые представляют собой остатки от деления исходного числа на соответствующее основание. Объем диапазона представляемых чисел (Q_N) равен произведению оснований системы, при этом основания системы выбирают исходя из того, что Q_N должен быть больше максимально возможного результата обработки данных в позиционном коде. Введение дополнительного основания N_{v+1}, взаимно простого с остальными основаниями, приводит к возникновению избыточности в представлении числа. Объем числового диапазона при этом увеличивается в N_{v+1} раз. Число A представляется в виде остатков по всем основаниям системы в виде ($\alpha_1, \alpha_2,\ldots, \alpha_v, \alpha_{v+1}$), причем все цифры α_i являются независимыми. Следовательно, цифра α_{v+1} числа A по дополнительному основанию N_{v+1} (называемому контрольным) будут участвовать в выполнении арифметических операций равноправно с остальными цифрами числа. Введение этого дополнительного канала позволяет построить алгоритм обработки сигналов, устойчивый к одиночным ошибкам (искажениям любой одной цифры числа по любому основанию) обработки данных [1].

С учетом того, что синтезируемый алгоритм предназначен для обработки сигналов, аппроксимированных цепями Маркова, разобьем обработку данных на три этапа: подготовительный, фильтрации марковского сигнала и обнаружения и исправления ошибки.

I. *Подготовительный этап*

I.1. Определение начальных и переходных вероятностей марковской цепи в каждом канале СОК для случаев смеси (сигнал + помеха) и помехи по формулам [3]

$$p'_{\text{СП}\alpha}[N_S]=\sum_{k=0}^{\Delta_2}\sum_{i=N_Sk}^{\Delta_3(k)}\delta_k(i)\,p_{\text{СП}\,i+\alpha}\ ,\quad p'_{\text{П}\alpha}[N_S]=\sum_{k=0}^{\Delta_2}\sum_{i=N_Sk}^{\Delta_3(k)}\delta_k(i)\,p_{\text{П}\,i+\alpha}\ ,$$

$$p'_{\text{СП}\alpha\beta}[N_S]=\frac{\sum\limits_{k_1=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{i=N_Sk_1}^{\Delta_3(k_1)}\left(\delta(k_1,i)\cdot\sum\limits_{k_2=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{j=N_Sk_2}^{\Delta_3(k_2)}\delta(k_2,j)\,p_{\text{СП}\,i+\alpha,j+\beta}\right)}{\sum\limits_{k_1=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{i=N_Sk_1}^{\Delta_3(k_1)}\sum\limits_{j=0}^{\Delta_1}\delta(k_1,i)\,p_{\text{СП}\,i+\alpha,j}},$$

$$p'_{\text{П}\alpha\beta}[N_S]=\frac{\sum\limits_{k_1=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{i=N_Sk_1}^{\Delta_3(k_1)}\left(\delta(k_1,i)\cdot\sum\limits_{k_2=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{j=N_Sk_2}^{\Delta_3(k_2)}\delta(k_2,j)\,p_{\text{П}\,i+\alpha,j+\beta}\right)}{\sum\limits_{k_1=0}^{\Delta_2}\sum\limits_{i=N_Sk_1}^{\Delta_3(k_1)}\sum\limits_{j=0}^{\Delta_1}\delta(k_1,i)\,p_{\text{П}\,i+\alpha,j}},$$

где $\delta(k,i)=\prod\limits_{l=\Theta k+1}^{\Delta_3(k)}\dfrac{(i-l)}{(\Theta k-l)}$, Δ_1 – число уровней квантования; $\Delta_2=\left\lceil\dfrac{\Delta_1}{N_S}\right\rceil$; $\Delta_3(x)=N_S(x+1)-1$; $\lceil\ \rceil$ – операция округления дробного числа до ближайшего целого в большую сторону; индексы СП и П указывают на случаи смеси сигнала с помехой и чистой помехи.

I.2. Вычисление весовых коэффициентов в каждом канале СОК [3]:

а) если $\ln\left(\dfrac{p'_{\text{СП}\alpha}[N_S]}{p'_{\text{П}\alpha}[N_S]}\right)\geq 0$, то представление весовых коэффициентов в обобщенной искусственной форме будет осуществляться по формулам

$$Z'_0[N_S]=\left\langle\frac{Q_N-1}{2}+Z_0[N_S]\right\rangle_{N_S};\quad Z'_{\alpha\beta\ldots\gamma}[N_S]=\left\langle\frac{Q_N-1}{2}+Z_{\alpha\beta\ldots\gamma}[N_S]\right\rangle_{N_S};$$

б) если $\ln\left(\frac{p'_{\text{СП}\alpha}[N_S]}{p'_{\text{П}\alpha}[N_S]}\right)<0$, то по формулам

$$Z'_0[N_S]=\left\langle\frac{Q_N-1}{2}-Z_0[N_S]\right\rangle_{N_S};\quad Z'_{\alpha\beta\ldots\gamma}[N_S]=\left\langle\frac{Q_N-1}{2}-Z_{\alpha\beta\ldots\gamma}[N_S]\right\rangle_{N_S},$$

где число $\frac{Q_N-1}{2}$ ($Q_N=\prod_{S=1}^{\nu}N_S$) принято в качестве нуля (если среди оснований есть четное число, то $\frac{Q_N}{2}$).

II. *Этап фильтрации марковских сигналов*

II.1. Кодирование входного сигнала числами СОК. При этом входной сигнал $x(kT)$ заменяется вычетами $x_1(kT), x_2(kT), \ldots, x_\nu(kT)$ по модулям $N_1, N_2, \ldots, N_\nu$ по формуле [3]

$$x_S(kT)=\langle x(kT)\rangle_{N_S},$$

где $S=1,2,\ldots,\nu$; $Q_N=\prod_{S=1}^{\nu}N_S$ (все N_S – взаимно простые числа).

II.2. Определение весового коэффициента по последовательным отчетам сигнала в каждом канале СОК [3].

При рассмотрении односвязной цепи Маркова весовые коэффициенты $Z'_{\alpha\beta}[N_S]$ определяются по двум последовательным отчетам сигнала $x_\alpha[N_S]=x_S(kT)$, $x_\beta[N_S]=x_S(kT+T)$.

Использование многосвязной цепи Маркова при определении весовых коэффициентов $Z'_{\alpha\beta\ldots\gamma}[N_S]$ требует наличия нескольких последовательных отчетов сигнала: $x_\alpha[N_S]=x_S(kT)$, $x_\beta[N_S]=x_S(kT+T)$, …, $x_\gamma[N_S]=x_S(kT+mT)$.

II.3. Умножение весового коэффициента на вычет сигнала по соответствующему основанию СОК [4]:

$$\lambda'_S[kT]=\langle Z'_{\alpha\beta\ldots\ldots\gamma}[N_S]\cdot x_S(kT)\rangle_{N_S}.$$

II.4. Вычисление суммы $\lambda'_S=\sum_k\lambda'_S[kT]$ для последовательности выборочных значений.

III. *Этап обнаружения и исправления ошибки*

III.1. Вычисление проекции A_S по S-му основанию СОК ($S=1,2,\ldots,\nu+1$):

$$A_S=\left\langle\lambda'_1G_1^S+\lambda'_2G_2^S+\ldots+\lambda'_{S-1}G_{S-1}^S+\lambda'_{S+1}G_{S+1}^S+\ldots+\lambda'_\nu G_\nu^S+\lambda'_kG_k^S\right\rangle_{M_S},$$

где $M_S=Q_{N\text{полн.}}/N_S$; $Q_{N\text{полн.}}=\prod_{S=1}^{\nu+1}N_S$; λ'_S – возможный результат фильтрации в S-м канале СОК, т.е. λ'_S – целое положительное число, принадлежащее отрезку $[0,N_S-1]$.

III.2. Проверка на наличие сбоя. Для этого все проекции сравниваются. Если они все одинаковые и меньше Q_N, то сбоя нет, полученным результатам можно доверять, иначе – имеет место сбой.

III.3. Локализация ошибки. Все проекции сравниваются с Q_N. По номеру проекции, которая оказалась меньше Q_N, определяется канал, в котором произошел сбой.

III.4. Исправление ошибки. Для устранения ошибки в S-м канале вычисляется S-я проекция $\lambda=A_S$.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет выявлять и исправлять любые одиночные ошибки, если они произошли в одном из каналов обработки данных в СОК. Алгоритм становится устойчивым к ошибкам, что способствует повышению надежности его работы.

Литература

1. *Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.* Организация обнаружения и исправления ошибок в ЭВМ в непозиционных системах // Давлет Исламович Юдицкий. Сер. Создатели отечественной электроники / под ред. Б.М. Малашевича [электронный ресурс]. URL: http://www.computer-museum.ru/books/uditskii_3.1.pdf.

2. *Галанина Н.А.* Методы и вычислительные устройства цифровой обработки сигналов в системе остаточных классов: дис. … докт. техн. наук. Казань, 2011.

3. *Иванова Н.Н.* Устройства вычислительной техники для цифровой обработки сигналов, аппроксимированных цепями Маркова, в системе остаточных классов: дис. … канд. техн. наук. Казань, 2011.

ПЕСОШИН ВАЛЕРИЙ АНДРЕЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем, Казанский национальный исследовательский технический университет, Россия, Казань (pesoshin@evm.kstu-kai.ru).

PESOSHIN VALERIY ANDREEVICH – doctor of technical sciences, professor, head of Computer Systems Chair, Kazan National Research Technical University, Russia, Kazan.

ИВАНОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (naadeezdaa@rambler.ru).

IVANOVA NADEZHDA NIKOLAEVNA – candidate of technical sciences, associate professor of Math and Hardware Information Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.391.037.37
ББК 3811.3

В.А. ПЕСОШИН, Н.Н. ИВАНОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ МАРКОВСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ В ОСТАТОЧНЫХ КЛАССАХ

Ключевые слова: *марковские сигналы, система счисления в остаточных классах (СОК), отказоустойчивое устройство, аппаратурные затраты.*

Предложен способ сокращения аппаратурных затрат при реализации отказоустойчивых устройств обработки марковских сигналов на основе СОК с помощью построения многоступенчатой СОК. Согласно этому способу в контрольных каналах СОК первые ступени обработки сигналов представляются несколькими независимыми параллельными каналами второй ступени, а вторые ступени – третьими. При этом разрядность операндов в каждом канале СОК сокращается, за счет чего и достигается сокращение аппаратурных затрат.

N.N. IVANOVA, V.A. PESOSHIN

OPTIMIZATION OF EQUIPMENT COSTS WHEN IMPLEMENTING OF ERRORS RESISTANT DEVICES OF MARKOV'S SIGNALS PROCESSING ON THE BASE OF THE RESIDUA NUMBER SYSTEM

Key words: *Markov signals, residua number system (RNS), error resistant devices, equipment costs.*

The way of equipment costs reduction when implementing of errors resistant devices of Markov's signals processing on the base of RNS with the help of the building multi-level system RNS is suggested. According to this way in the testing RNS channels the first levels of signals processing are shown as several single parallel channels of the second level, and the second levels – as the third ones. In the addition the bigness of the operands in every RNS channel is reduced, and as the result the equipment costs reduction is reached.

Сокращение аппаратурных затрат при реализации различных устройств цифровой обработки сигналов всегда являлось актуальной проблемой, причем она становится более острой при построении отказоустойчивых устройств, так как эти устрой-

ства требуют значительно больших аппаратурных затрат по сравнению с устройствами, реализующими аналогичные алгоритмы обработки данных, но не выполняющими проверку и исправление ошибок.

Несмотря на то, что отказоустойчивые устройства цифровой обработки сигналов в СОК требуют меньших аппаратурных затрат по сравнению с таковыми при построении аналогичных систем на основе позиционной системы счисления, проблема сокращения аппаратурных затрат также имеет место быть, в частности, при построении устройств обработки марковских сигналов в СОК. Это связано со спецификой представления сигналов, аппроксимированных цепями Маркова, и требованиями к разрядности оснований контрольных каналов. Согласно исследованиям, разрядность операндов в дополнительных (контрольных) каналах обработки данных должна быть больше таковых в информационных каналах. Так, для устранения отказа в одном информационном канале необходимо, чтобы разрядность дополнительного контрольного основания более чем в 2 раза превосходила разрядность максимального основания системы, что приводит к резкому увеличению аппаратурных затрат.

При реализации устройства обработки марковских сигналов, устойчивого к одиночным ошибкам (искажениям любой одной цифры α_i числа по любому основанию N_i), с одним дополнительным каналом аппаратурные затраты для реализации обработки в нем будут сопоставимы с затратами на реализацию устройства обработки марковских сигналов на основе позиционной системы счисления (ПСС). В [3], например, подсчитано, что для случая $\rho_{max} = 2^{17}$, $R_{АЦП} = 10$ бит и разрядности весовых коэффициентов $R_Z = 8$ бит для хранения весовых коэффициентов при реализация в ПСС устройства обработки сигналов, аппроксимированных двухсвязной цепью Маркова, потребуется 1 Гбайт памяти, а использование трехсвязной цепи Маркова при тех же условиях приведет к необходимости использования памяти емкостью 1 Тбайт.

В общем случае корректирующий код в СОК с упорядоченной системой модулей, исправляющий любые L ошибки и обнаруживающий любые L+1 ошибки, должен иметь $2L$ контрольных каналов [2], причем разрядности оснований в контрольных каналов должны быть больше таковых в информационных каналах, что также приведет к существенному увеличению общих аппаратурных затрат.

Для снижения затрат необходимо снизить разрядности обрабатываемых данных. Известно, что для уменьшения разрядности операндов в каналах СОК можно использовать принцип построения многоступенчатых СОК. Для этого некоторые каналы первой ступени (N_S) представляются несколькими независимыми параллельными K каналами второй ступени по модулям N_{SK}. Каналы второй ступени, в свою очередь, могут быть перекодированы по модулям третьей ступени N_{SK}^{L} и представлены несколькими параллельными каналами третьей ступени.

На рис. 1 показана схема устройства обработки сигналов, аппроксимированных двухсвязной цепью Маркова, в СОК, на рис. 2 – схема обработки данных в информационных каналах, а на рис. 3 – в контрольном канале. В этом устройстве (рис. 1) «оцифрованный» входной сигнал $x(kT)$ в шифраторах Ш-N_1, Ш-N_2, …., Ш-N_ν и Ш-$N_к$ заменяется вычетами $x_1(kT)$, $x_2(kT)$, …, $x_\nu(kT)$, $x_к(kT)$ по основаниям N_1, N_2, …, N_ν, $N_к$, где (ν+1)-й канал обработки является контрольным и отмечен индексом «к».

В каждом S-м информационном канале ($S = 1, 2, \ldots, \nu$) (рис. 2) регистры RG_1 и RG_2 служат для запоминания вычетов двух последовательных отсчетов сигнала $x_S(kT+T)$, $x_S(kT+2T)$ по основаниям N_S. Затем отсчеты $x_S(kT)$, $x_S(kT+T)$, $x_S(kT+2T)$, формирующие адрес ячейки памяти, считывают из нее соответствующие весовые коэффициенты $Z'_{\alpha\beta\gamma}[N_S]$ [2]. Далее, в соответствии с алгоритмом, весовой коэффициент $Z'_{\alpha\beta\gamma}[N_S]$ и значение сигнала $x_S(kT)$ поступают на умножитель (Умн). Умножение происходит по модулю соответствующего канала. Полученные произведения складываются для последовательности выборочных значений в сумматоре (Σ). Таким образом на выходах схем обработки данных в информационных каналах формируются значения $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_\nu$.

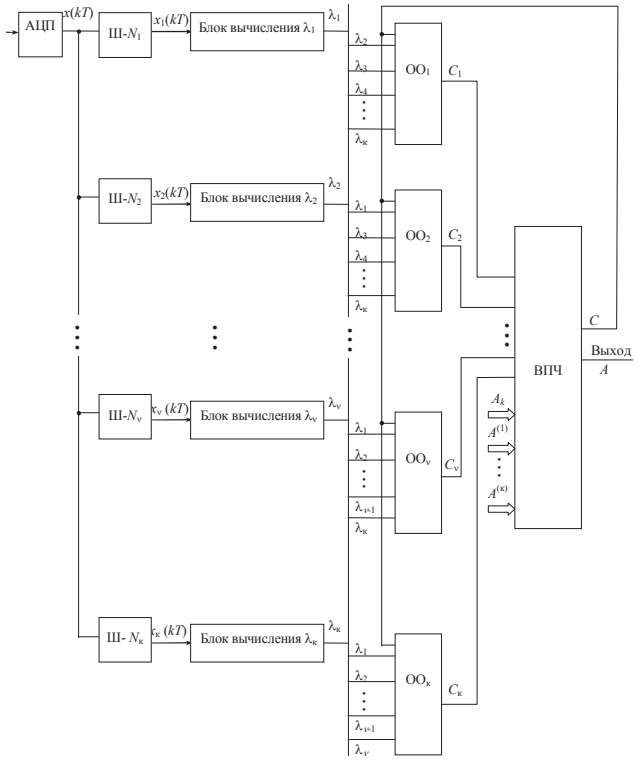


Рис. 1. Схема отказоустойчивого устройства обработки цифровых сигналов, аппроксимированных двухсвязной цепью Маркова, в СОК

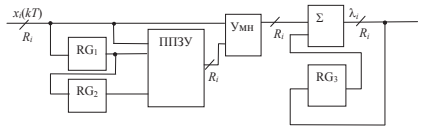


Рис. 2. Схема обработки данных в информационном канале СОК

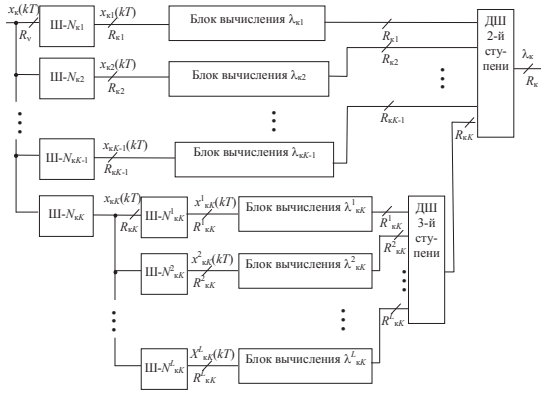


Рис. 3. Схема обработки данных в контрольном канале СОК

В контрольном канале в шифраторах второй ступени Ш-$N_{к1}$, Ш-$N_{к2}$, …, Ш-$N_{кK}$ отсчеты сигнала кодируются вычетами по соответствующим модулям $N_{к1}$, $N_{к2}$, …, $N_{кK}$. В нашем случае последний канал второй ступени в шифраторах третьей ступени разбивается на каналы, соответствующие основаниям $N^1_{кK}$, $N^2_{кK}$, …, $N^L_{кK}$. Схемы ДШ 2-й и 3-й ступеней восстанавливают результаты по соответствующему модулю. В результате чего на выходе схемы обработки данных в контрольном канале формируется значение $\lambda_к$.

Полученные значения λ_1, λ_2, …, λ_v, $\lambda_к$ подаются в блоки обнаружения отказов ($ОО_1$, $ОО_2$, …, $ОО_v$, $ОО_к$) (см. рис. 1) таким образом, что в каждый блок $ОО_S$ (рис. 2) не подается $\lambda_S (S = 1, 2, \ldots, v, к)$.

В блоках OO_S (рис. 4) в ПЗУ хранятся попарно частичные слагаемые проекции A_S:

$$A_S = (\lambda_1 G_1^S + \lambda_2 G_2^S + ... + \lambda_{S-1} G_{S-1}^S + \lambda_{S+1} G_{S+1}^S + ... + \lambda_v G_v^S + \lambda_k G_k^S) \bmod M_S,$$

которые записаны в регистры RG_1, RG_2, …, RG_n откуда они поступают в сумматор SUM синхросигналами T, формируя тем самым число A_S. Полученное число в схеме сравнения COMP сравнивается с числом Q_N, которое было сохранено в регистре RG_N.

Если $A_S \le Q_N$, то выходному сигналу схемы сравнения C_S присваивается значение 1, иначе – 0. С выхода схемы сравнения значение C_S подается на регистр RG_A и на соответствующий вход логической схемы «И» блока выбора правильного числа (ВПЧ) (рис. 5).

Если все значения C_S (S = 1, 2, …, v, к) совпадают и равны 1, то число A является правильным. Тогда результат на выходе системы «И» блока ВПЧ будет равен 1. В этом случае на управляющий вход мультиплексора MUX будет подана 1. Тогда на выходе мультиплексора окажется число $A_к = A$, которое было подано с выхода блока $OO_к$.

Если в каком-то канале $C_S = 0$, это говорит о том, что в этом канале произошел сбой, и выходной сигнал схемы «И» блока ВПЧ будет также равен 0. В этом случае на выходе мультиплексора MUX окажется число со схем «ИЛИ» блока ВПЧ, а с управляющего выхода инвертора сигнал $C = C_1 \wedge C_1 \wedge C_2 \wedge \wedge \ldots \wedge C_v \wedge C_к$ будет считан по цепи обратной связи из ВПЧ и передан на управляющие входы блоков OO_S, открывая при этом регистр RG_A по второму управляющему входу того блока ОО, в котором $A_S < Q_N$ и $C_S = 1$. Тогда через открытый регистр RG_A будет считано правильное число $A^{(S)}$. Выходы правильного числа соединены со схемой «ИЛИ» блока правильного числа, через которую число $A^{(S)}=A$ подается на мультиплексор MUX. Выход мультиплексора является выходом цифрового фильтра.

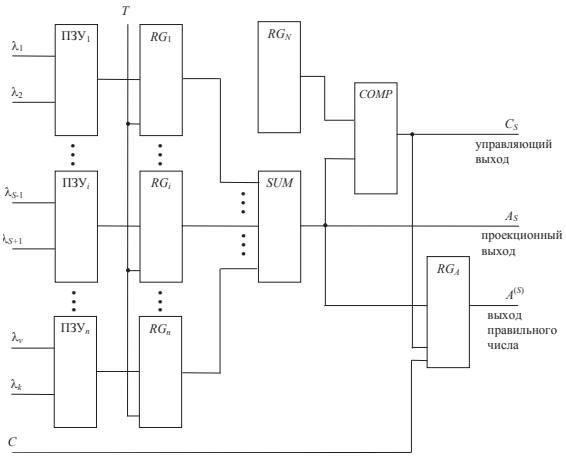


Рис. 4. Схема блока OO_S

Аналогично синтезируются схемы отказоустойчивой обработки марковских сигналов в СОК с несколькими контрольными каналами.

Оценим аппаратурные затраты при построении системы с одним контрольным каналом. Пусть максимальная разрядность оснований СОК равна 5 бит (можно подобрать такую систему оснований СОК при $\rho_{max} = 2^{17}$, $R_{АЦП} = 10$ бит, $R_Z = 8$ бит), тогда разрядность контрольного канала должна быть равна 10 бит. При аппроксимации сигналов двухсвязной цепью Маркова аппаратурные затраты на реализацию устройства блоков контрольного канала в многоступенчатом виде составят приблизительно 1 Мбайт против более 1 Гбайт в одноступенчатом варианте; при использовании трехсвязной цепи Маркова – 18,6 Мбайт и 1 Тбайт, соответственно.

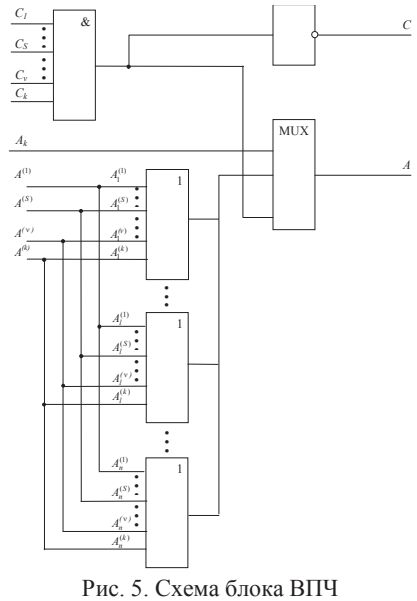


Рис. 5. Схема блока ВПЧ

При построении системы с несколькими контрольными каналами разрядность данных в

них обычно небольшая – 5-6 бит. Однако даже такие значения разрядности увеличивают аппаратурные затраты при реализации блоков контрольных каналов.

Предположим, что для аппроксимации сигнала использовалась двухсвязная цепь Маркова. В этом случае аппаратурные затраты на реализацию блоков обработки данных в контрольных каналах при $R_к = 5$ и 6 бит без построения многоступенчатой системы обработки данных будут равны приблизительно 34 Кбайт и 1 Мб, соответственно. При использовании трехсвязных цепей Маркова эти затраты уже составят 264 Кбайт и 16 Мб. Тогда как при построении многоступенчатой обработки данных в контрольных каналах и использовании двухсвязной и трехсвязной цепей Маркова при $R_к = 5$ затраты составят 7 Кбайт и 39 Кбайт, а при $R_к = 6 – 47$ Кбайт и 1 Мб, соответственно.

Таким образом, приведенные результаты наглядно доказывают, что использование предложенного способа реализации отказоустойчивых устройств обработки марковских сигналов на основе СОК позволяет значительно сократить аппаратурные затраты.

Литература

1. *Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.* Организация обнаружения и исправления ошибок в ЭВМ в непозиционных системах // Давлет Исламович Юдицкий. Сер. Создатели отечественной электроники / под ред. Б.М. Малашевича [электронный ресурс]. URL: http://www.computer-museum.ru/books/uditskii_3.1.pdf.

2. *Галанина Н.А.* Методы и вычислительные устройства цифровой обработки сигналов в системе остаточных классов: дис. … докт. техн. наук. Казань, 2011.

3. *Иванова Н.Н.* Устройства вычислительной техники для цифровой обработки сигналов, аппроксимированных цепями Маркова, в системе остаточных классов: дис. … канд. техн. наук. Казань, 2011.

ПЕСОШИН ВАЛЕРИЙ АНДРЕЕВИЧ. **См. с. 276.**
ИВАНОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА. **См. с. 276.**

УДК 378:004.9
ББК 74.4

М.В. ПЕТРОВА, Д.А. АНУФРИЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ

Ключевые слова: *образовательный процесс, вуз, моделирование, Data Mining, искусственные нейронные сети, ЕГЭ, успеваемость студентов.*

Исследованы возможности методов интеллектуального анализа данных (Data Mining) при моделировании образовательного процесса в вузе. С помощью искусственных нейронных сетей получены вычислительные модели связи между баллами, полученными студентами на ЕГЭ, и успеваемостью студентов на первых курсах.

M.V. PETROVA, D.A. ANUFRIEVA

A STUDY OF POSSIBILITIES OF DATA MINING FOR MODELING OF EDUCATIONAL PROCESS IN HIGH SCHOOL

Key words: *educational process, high school, modeling, Data Mining, artificial neural networks, exam, student performance.*

Possibilities of Data Mining in the simulation of the educational process at the university are studied. Computational models of connections between scores obtained by students in the exam and academic performance of students in the first courses were obtained.

В декабре 2012 г. Правительством РФ утвержден план мероприятий («дорожная карта») «Изменения в отраслях социальной сферы, направленные на повышение эффективности образования и науки» (далее План).

По отношению к системе высшего образования План предусматривает изменения, направленные на повышение эффективности и качества услуг в сфере образования, совершенствование структуры и сети государственных образовательных организаций, со-

вершенствование структуры образовательных программ, и включает в себя, в частности, следующее: проведение ежегодного мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования; модернизацию системы лицензирования и аккредитации образовательных программ в системе высшего образования; введение прикладного бакалавриата в высшем образовании; обеспечение высокого качества программ магистратуры; создание новой модели аспирантуры на базе образовательных организаций высшего образования, активно участвующих в научно-исследовательской работе; поддержку программ развития сети национальных исследовательских университетов; реализацию программ стратегического развития образовательных организаций высшего образования; создание системы оценки качества подготовки бакалавров; разработку и внедрение механизмов эффективного контракта с научно-педагогическими работниками образовательных организаций высшего образования; информационное и мониторинговое сопровождение введения эффективного контракта с вузом.

В данной работе была поставлена задача исследования возможностей методов интеллектуального анализа данных (МИАД) (Data Mining и, в частности, искусственных нейронных сетей) для анализа выполнения некоторых мероприятий Плана, в частности, анализа состояния системы образования в вузе и прогнозирования ее развития [1].

Поиск в электронной библиотеке России elibrary.ru показал, что в России примеров применения МИАД при решении подобных задач нет. За рубежом такие примеры есть [6-8].

Методология исследований. Главным условием применения МИАД, реализующих «информационный подход» к задачам анализа и прогнозирования, является сбор данных об анализируемой системе. Источниками данных могут быть базы данных учетных систем вуза; данные, которые непосредственно или косвенно касаются участников образовательного процесса вуза, но которые отсутствуют в учетных системах и которые можно получить с помощью развернутых анкет-интервью участников образовательного процесса; внешние по отношению к вузу данные (макроэкономические показатели региона вуза, конкурентная среда, демографические и иные статистические данные).

Общие задачи, которые могут решать МИАД, следующие [2-5]: *классификация* – отнесение объектов (наблюдений, событий) к одному из заранее известных классов; *регрессия, в том числе задачи прогнозирования* – установление зависимости выходных параметров (целевых функций) от входных переменных (факторов); *кластеризация* – группировка объектов (наблюдений, событий) на основе данных (свойств), описывающих сущность этих объектов.

Проблемы анализа и моделирования образовательного процесса в вузе формулируются похожим образом, и решение большинства из них сводится к той или иной задаче Data Mining или к их комбинации.

Результаты анализа и моделирования образовательного процесса в вузе. На сайте http://mfi.chuvsu.ru/opros/ размещены анкеты-интервью, заполняемые в режиме он-лайн и содержащие около 100 вопросов по процессу образования в целом и качеству образовательного процесса. К настоящему времени собрано около 300 анкет (около 30 000 ответов). Данные ответов на вопросы анкет представляются в виде таблицы, затем проводятся их обработка, анализ и моделирование с помощью МИАД.

В таблице приведены результаты оценки корреляции между результатами ЕГЭ и результатами первой сессии студентов.

Корреляция между результатами ЕГЭ и результатами первой сессии студентов

Входные поля		Корреляция с выходными полями		
№	Баллы ЕГЭ по	количество пятерок в 1-м семестре	количество четверок в 1-м семестре	количество троек в 1-м семестре
1	математике	–0,466	–0,499	0,414
2	физике	0,486	–0,511	–0,317
3	русскому языку	0,456	–0,282	0,405

В левом столбце «Входные поля» указаны факторы (баллы ЕГЭ по трем дисциплинам), в столбце «Корреляция с выходными полями» – в первой строчке название целевых функций – количество оценок «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно», ниже – показатели корреляции (цифры в виде десятичной дроби со знаком + или –).

Результаты показывают, что непосредственной линейной связи между баллами ЕГЭ и оценками первой сессии студентов нет и что связь эта существенно нелинейная.

Для выявления этой связи были использованы искусственные нейронные сети, с помощью которых были построены вычислительные модели, позволяющие по баллам ЕГЭ прогнозировать успеваемость студентов в первую сессию. Результаты представлены на рис. 1-3.

Результаты показывают следующее. Количество «пятерок» в первую сессию не зависит (близко к 0) от баллов ЕГЭ по математике до значения 70-75 (рис. 1). При баллах ЕГЭ более 75 количество «пятерок», полученных студентами в первую сессию, начинает резко расти, достигая максимума при баллах ЕГЭ более 85.

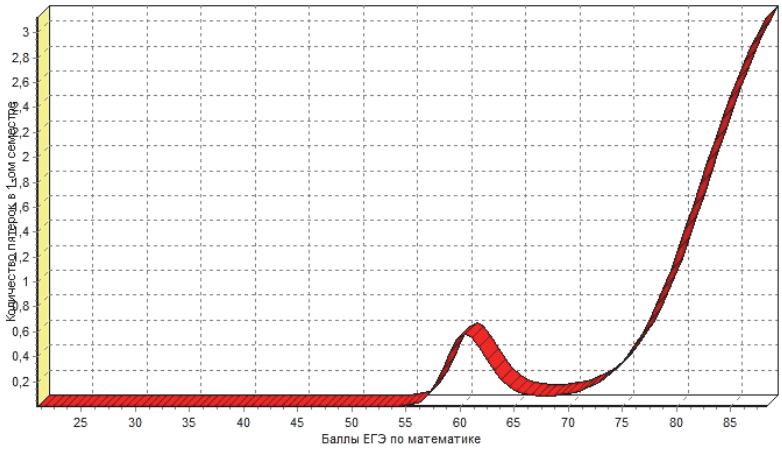


Рис. 1. Зависимость количества «пятерок»
в первую сессию от результатов ЕГЭ по математике

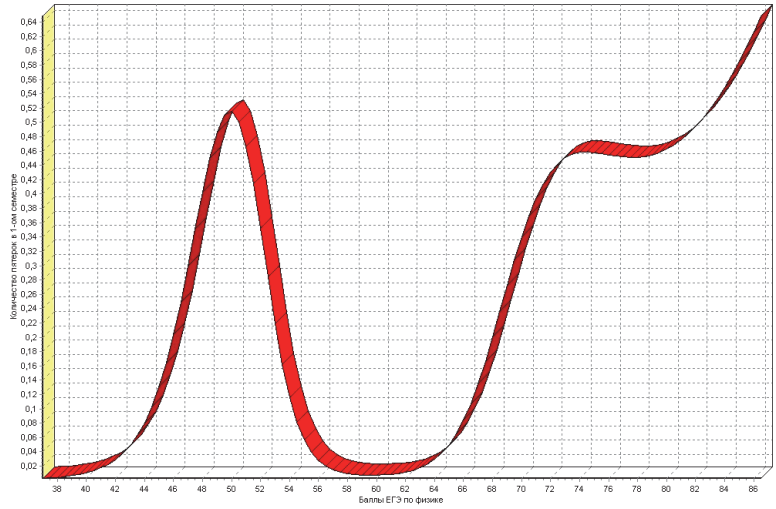


Рис. 2. Зависимость количества «пятерок»
в первую сессию от результатов ЕГЭ по физике

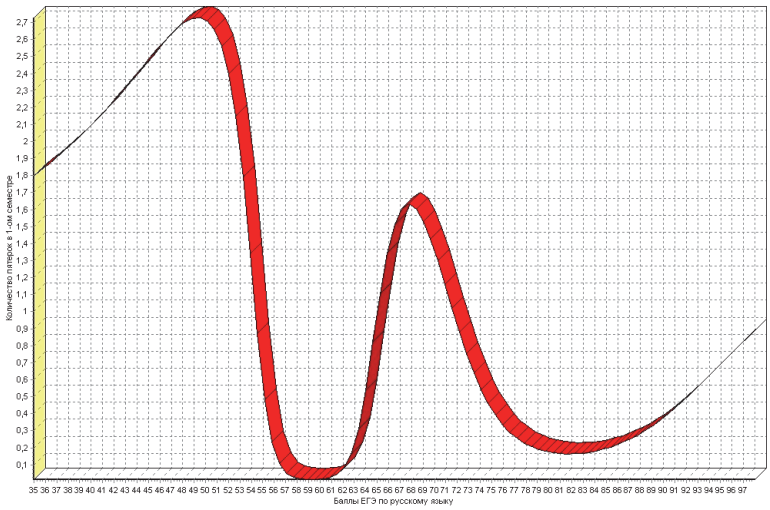


Рис. 3. Зависимость количества «пятерок»
в первую сессию от результатов ЕГЭ по русскому языку

Зависимость количества «пятерок» в первую сессию от результатов ЕГЭ по физике практически не существует (рис. 2) – обратите внимание на то, что количество пятерок не превышает 0,6 (ось ординат). При анализе зависимости количества «пятерок» от баллов ЕГЭ по русскому языку (рис. 3) можно отметить следующую тенденцию: меньшие баллы ЕГЭ по русскому языку определяют большее количество «пятерок» в первую сессию, что, возможно, определяет отношение тех, кто больше внимания уделяет математике, к русскому языку.

В целом можно сделать вывод о том, что средние баллы ЕГЭ не могут служить основанием для определения «эффективности» вуза с точки зрения «качества образования», понимаемого как успеваемость студентов.

Были исследованы закономерности «траектории» качества учебной работы студентов в виде связей между оценками, полученными студентами на экзаменационных сессиях разных семестров (с 1-го по 4-й).

На рис. 4 представлен скриншот аналитической платформы Deductor. График отражает зависимость количества «пятерок» во 2-м семестре от количества «троек» в 1-м семестре. Он показывает, что 1-2 «тройки» («печальный опыт» 1-й экзаменационной сессии) приводит к тому, что во втором семестре студент учится практически на одни «пятерки».

Исследовались и другие различные комбинации связей между различными оценками, полученными на экзаменационных сессиях разных семестров. Но четкой связи выявлено не было. Можно отметить только, что связи между оценками, полученными на экзаменационных сессиях 3-го и 1-го семестров, 4-го и 1-го, 4-го и 2-го семестров, практически нет.

Решение задачи прогнозирования «траектории» качества учебной работы студентов по семестрам (в виде «траектории» качества оценок, полученных студентами на экзаменационных сессиях), требует дополнительного сбора данных.

Выводы. Работа в настоящее время продолжается. В дополнение к данным анкет-интервью планируется собрать данные по финансовому обеспечению образовательного процесса, экспертным оценкам итоговых аттестаций, российскому рейтингу вуза, уровню конкурсного отбора абитуриентов и т.д.

Предполагается решение комплекса задач, например:

– прогнозирование «траектории» учебной и научной работы студентов различных специальностей и направлений подготовки и определение мер, способствующих повышению качества учебной и научной работы студентов;

– кластеризация – группировка специальностей и направлений подготовки по качеству приема абитуриентов, качеству учебной и научной работы студентов, районам проживания абитуриентов и студентов с хорошим качеством учебной и научной работы, уровню востребованности выпускников различных специальностей и направлений подготовки;

– решение задач регрессии (получения многофакторных вычислительных моделей), устанавливающих зависимости таких целевых функций, как качество учебы по курсам и качество выпускных квалификационных работ, востребованность выпускников и уровень их заработной платы после трудоустройства, степень удовлетворенности участников процесса образования (студенты, аспиранты, преподаватели, учебно-вспомогательный персонал, административно-хозяйственный аппарат, потребители – работодатели, родители студентов и др.), от таких факторов, как потребность (федеральная, региональная) в специалистах; личностная потребность в высшем образовании, ресурсы вуза; бюджетное и внебюджетное финансирование; степень внедрения информационно-телекоммуникационных технологий; уровень требований при конкурсном отборе абитуриентов, степень участия преподавателей в НИР; уровень кадрового обеспечения образовательного процесса в целом; заработная плата преподавателей и учебно-вспомогательного персонала и т.п.

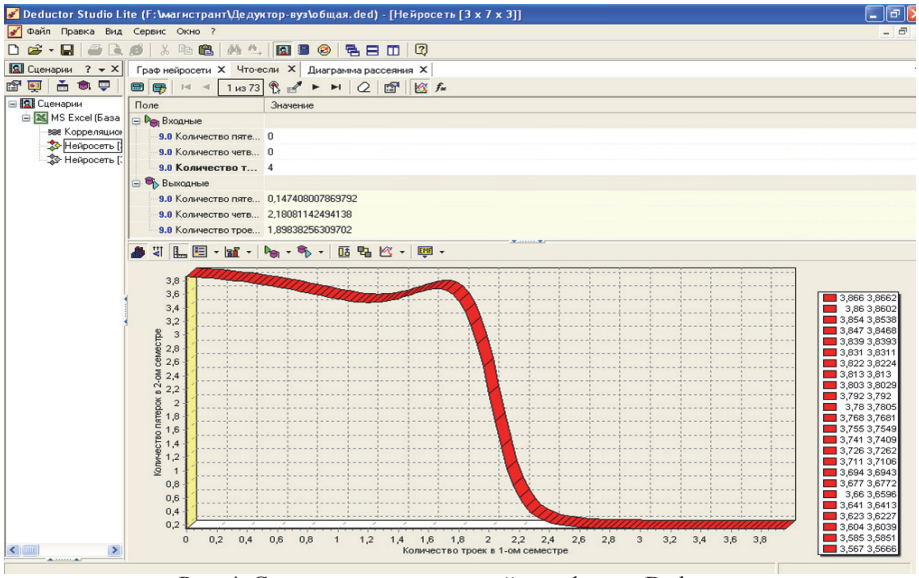


Рис. 4. Скриншот аналитической платформы Deductor.
Зависимость количества «пятерок» во 2-м семестре от количества «троек» в 1-м семестре

Авторы приглашают студентов, аспирантов и преподавателей вузов Чувашии к совместной работе.

Литература

1. *Абруков В.С., Ефремов Л.Г., Кощеев И.Г.* Новые подходы к разработке моделей системы поддержки принятия решений и управления вузом // Вестник Чувашского университета. 2013. № 1. С. 224-229.

2. *Абруков В.С., Николаева Я.Г.* Количественные и качественные методы: соединяем и властвуем! // СОЦИС. 2010. № 1. С. 142-145.

3. Анализ бизнес информации – основные принципы [Электронный ресурс]. URL: http://www.basegroup.ru/library/methodology/analysisbusinessdata (дата обращения: 15.04.2013).

4. Применение средств интеллектуального анализа данных (Data Mining) для исследования неполно определенных систем / *В.С. Абруков, Я.Г. Николаева, Д.Н. Макаров и др.* // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 233-241.

5. *Славутская Е.В., Абруков В.С., Славутский Л.А.* Интеллектуальный анализ данных психодиагностики школьников предподросткового возраста // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 226-231.

6. *Goyal M.* Applications of Data Mining in Higher Education // International journal of computer science. 2012. Vol. 9(2). P. 113.

7. *Kovacic Z.J.* Predicting student success by mining enrolment data // Journal of research in higher education. 2012. Vol. 15. P. 54.

8. *Ranjan J.* Effective educational process: a data-mining approach // Journal of information and knowledge management systems. 2007. Vol. 37(4). P. 502.

ПЕТРОВА МАРИНА ВЕНИАМИНОВНА – магистрант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vasilkovam@mail.ru).

PETROVA MARINA VENIAMINOVNA – master student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АНУФРИЕВА ДАРЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА – магистрант кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dashko-08@mail.ru).

ANUFRIEVA DARYA ALEXANDROVNA – master student of Applied Physics and Nanotechnology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 083.73
ББК 32.811.4

И.Г. СИДОРКИНА, В.В. КИЛЕЕВ

КОДИРОВКА СИМВОЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ В АЛГОРИТМЕ ДАМЕРАУ–ЛЕВЕНШТЕЙНА

Ключевые слова: *строковая метрика, кодировка символов переменной длины, Юникод, алгоритм Дамерау–Левенштейна, обработка естественных языков.*

Предложена модификация алгоритма Дамерау–Левенштейна для работы с кодировками переменной длины. Кодировки переменной длины отличаются тем, что один символ может кодироваться несколькими байтами, что требует дополнительных действий при работе с такими символами. Модификация алгоритма заключается в вычислении фактической длины символа и осуществлении операции сравнения не отдельных байт, а последовательности байт, кодирующих один символ. Данная модификация необходима для многих систем, работающих с естественными языками, в частности для систем верификации орфографии и грамматики. Среди языков, для которых будет полезна данная модификация и для которых отсутствуют однобайтовые кодировки, можно выделить восточные финно-угорские языки, такие, как марийский, удмуртский, коми.

I.G. SIDORKINA, V.V. KILEEV

VARIABLE LENGTH CHARACTER ENCODING IN DAMERAU–LEVENSHTEIN ALGORITHM

Key words: *string metric, variable length character encoding, Unicode, Damerau–Levenshtein algorithm, natural language processing.*

The paper is considering modification of Damerau–Levenshtein algorithm to work with variable length character encodings. Variable length character encodings are distinguished by the symbols that could be encoded in several bytes that requires additional actions to be done during the work with such symbols. Modification of the algorithm consists of calculation of actual symbol length and making comparison not of the bytes but of sequences of bytes, which encode one symbol. This modification is required for many systems that work with natural languages especially for spell and grammar verification systems. Among the languages for which this modification would be useful, it is possible to mention eastern Finno-Ugric languages such as Mari, Udmurt and Komi.

Актуальность решения задачи построения эффективного алгоритма [3] определяется задачами, которые перед этим алгоритмом ставятся. Так в теории информа-

ции, расстояние Дамерау–Левенштейна является мерой разницы двух строк. Эта мера показывает, какое минимальное количество строковых операций при реализации алгоритма необходимо совершить, чтобы получить из одной строки другую. За строку принимается любая конечная последовательность символов.

Строковыми операциями являются: вставка одного символа, удаление одного символа, замена одного символа на другой, перестановка двух соседних символов местами (транспозиция). Расстояние Дамерау [6] предполагает возможными для выполнения все четыре строковые операции, но между двумя строками может быть совершена максимум одна операция. В то время как расстояние Левенштейна [7] предполагает только три строковые операции (за исключением транспозиции), но их количество может быть и более одного. Расстояние Дамерау–Левенштейна не только объединяет эти две отдельные меры в одну и позволяет подсчитывать все четыре строковые операции, но и может учитывать их многократное применение.

Данная мера широко применяется в алгоритмах компьютерной лингвистики, в частности в системах проверки орфографии и грамматики текстов [1], и во всевозможных нечетких моделях [2]. Тексты на языках с большим количеством носителей могут быть записаны однобайтовыми кодировками, для записи текстов на языках, не имеющих подобных кодировок, используются кодировки из международного стандарта Юникод, среди которых одной из самых распространенных является кодировка UTF-8, в которой символы (буквы) могут занимать от 1 до 6 байт. Переменная длина символов требует особого внимания при вычислении меры разницы двух строк, так как работа символа осуществляется не на уровне одного байта, а на уровне последовательности нескольких байт, что требует соответствующей модификации алгоритма Дамерау–Левенштейна.

Описание алгоритма. Работу алгоритма можно представить диаграммой деятельности (см. рис. 1). В данном алгоритме выполняются следующие операции над строками: вычисление длины строки, получение символа в *i*-й позиции, сравнение двух символов. В однобайтовых кодировках данные операции легко выполнимы, так как длина всех символов фиксирована и равна одному байту.

Суть алгоритма заключается в построении матрицы **H** размера str1.length+2 × str2.length+2. Нумерация строк и столбцов в этой матрице начинается с 0. По столбцам, начиная с первой строки – это воображаемое первое слово str1, по строкам, начиная с первого столбца – воображаемое второе слово str2. Значение каждой ячейки $H[i,j]$ показывает разницу между двумя строками str1[0:*i*–1] и str2[0:*j*–1], где str1[0:*i*–1] – подстрока строки str1, содержащая символы с 0-го до (*i*-1)-го. Значение каждой новой ячейки высчитывается на основе значений предыдущих ячеек, пока алгоритм не дойдет до последней ячейки H[str1.length+1, str2.length+1].

Кодировки с переменной длиной символов. Кодировка символов переменной длины отличается тем, что размер памяти, занимаемой символом, не фиксирован, он варьируется в зависимости от кодируемого символа. Это означает, что один символ может занимать один байт, а следующий за ним – несколько байт одновременно. Соответственно, для корректной работы с кодировками переменной длины в компьютерных системах необходимо каждый раз вычислять фактическую длину каждого символа, так как без этого невозможно определить длину строки.

В качестве примера кодировки переменной длины в данной статье рассматривается кодировка UTF-8, входящая в стандарт Юникод. В этой кодировке один символ может занимать от 1 до 6 байт. Принцип кодирования UTF-8 можно выразить табл. 1.

Буквы латинского алфавита и знаки препинания располагаются в блоке символов под названием C0 Controls and Basic Latin [4], имеют коды от U+0000 до U+007F, занимают один байт. А кириллические буквы русского и марийского алфавитов располагаются в блоке Cyrillic [5] и имеют коды от U+0400 до U+04FF, при этом кодируются двумя байтами. Коды некоторых букв представлены в табл. 2.

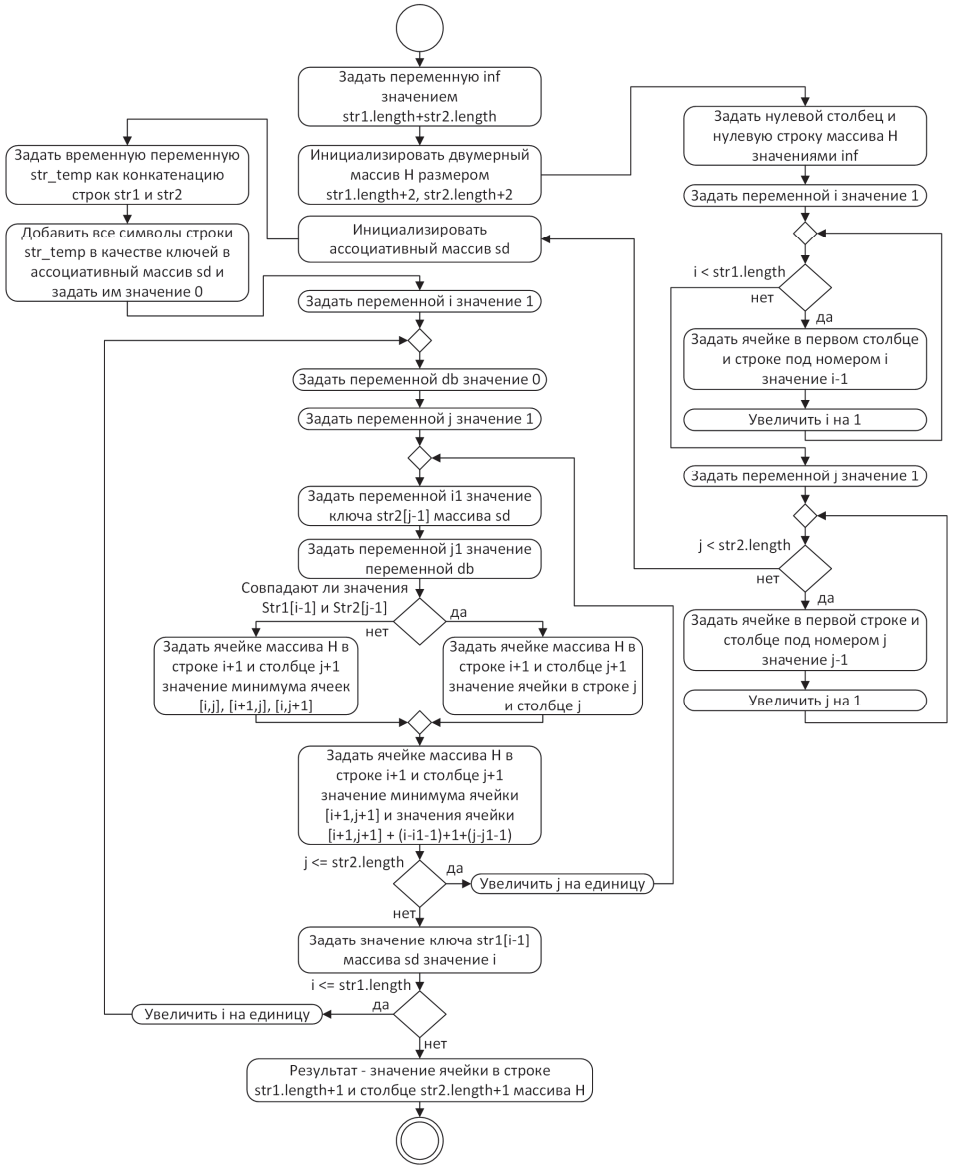


Рис. 1. Диаграмма деятельности оригинального алгоритма

Таблица 1

Принцип кодирования UTF-8

Количество бит в коде	**Первый код диапазона**	**Последний код диапазона**	**Количество байт**	**Байт 1**	**Байт 2**	**Байт 3**	**Байт 4**	**Байт 5**	**Байт 6**
7	U+0000	U+007F	1	**0**xxxxxxx					
11	U+0080	U+07FF	2	**110**xxxxx	**10**xxxxxx				
16	U+0800	U+FFFF	3	**1110**xxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx			
21	U+10000	U+1FFFFF	4	**11110**xxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx		
26	U+200000	U+3FFFFFF	5	**111110**xx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	
31	U+4000000	U+7FFFFFFF	6	**1111110**x	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx	**10**xxxxxx

Таблица 2

Значения кодов некоторых букв и символов Юникод в кодировке UTF-8

Буква/символ	Код буквы/символа Юникод в шестнадцатеричной системе	Код UTF-8 в двоичной системе
-	U+002D	**0***0101101*
A	U+0041	**0***1000001*
…		
Z	U+005A	**0***1011010*
a	U+0061	**0***1100001*
…		
z	U+007A	**0***1111010*
Ё	U+0401	**110***10000***10***000001*
А	U+0410	**110***10000***10***010000*
…		
Я	U+042F	**110***10000***10***101111*
а	U+0430	**110***10000***10***110000*
…		
п	U+043F	**110***10000***10***111111*
р	U+0440	**110***10001***10***000000*
я	U+044F	**110***10001***10***001111*
ё	U+0451	**110***10001***10***010001*
Ҥ	U+04A4	**110***10010***10***100100*
ҥ	U+04A5	**110***10010***10***100101*
Ӓ	U+04D2	**110***10011***10***010010*
ӓ	U+04D3	**110***10011***10***010011*
Ӧ	U+04E6	**110***10011***10***100110*
ӧ	U+04E7	**110***10011***10***100111*
Ӱ	U+04F0	**110***10011***10***110000*
ӱ	U+04F1	**110***10011***10***110001*
Ӹ	U+04F8	**110***10011***10***111000*
ӹ	U+04F9	**110***10011***10***111001*

Если работать со строками, закодированными в кодировке с переменной длиной символов, таким же образом, как и с однобайтовыми кодировками, это приведет к некорректным результатам работы алгоритма Дамерау–Левенштейна. Это наглядно демонстрируют результаты эксперимента, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Результаты эксперимента, демонстрирующие неправильность работы алгоритма Дамерау–Левенштейна с кодировками с переменной длиной символов на примере UTF-8

№ теста	Строка 1	Строка 2	Результат работы алгоритма Дамерау–Левенштейна	Правильный результат	Комментарий
1	report	report	0	0	Одинаковые строки
2	repoort	report	1	1	Вставка одного символа
3	repot	report	1	1	Удаление одного символа
4	deport	report	1	1	Замена символа
5	reprot	report	1	1	Транспозиция. Несуществующее слово
6	export	report	2	2	Несколько операций одновременно: вставка символа и удаление символа или можно еще как транспозиция и замена
7	корно	корно	0	0	Одинаковые строки
8	кор-но	корно	1	1	Вставка одного символа. Длина символа – один байт

Окончание табл. 3

№ теста	Строка 1	Строка 2	Результат работы алгоритма Дамерау–Левенштейна	Правильный результат	Комментарий
9	корено	корно	2	1	Вставка одного символа, так как длина символа два байта
10	корно	кор-но	1	1	Удаление одного символа. Длина символа – один байт
11	коно	корно	2	1	Удаление одного символа, так как длина символа два байта
12	коёно	коЁно	2	1	Замена символа. Оба байта разные
13	коӧно	коӦно	1	1	Замена символа. Отличие только в одном байте
14	корно	корҥо	2	1	Замена символа. Оба байта разные
15	коано	копно	1	1	Замена символа. Отличие во втором байте, первые байты одинаковые, поэтому результат правильный
16	корно	копно	2	1	Замена символа. Два байта отличаются
17	кояно	корно	1	1	Замена символа. Первые байты одинаковые, отличие только во втором байте
18	ко-но	корно	2	1	Замена символа. Двубайтовый символ заменяется на однобайтовый
19	коапо	копао	2	1	Транспозиция. Отличается только один байт
20	корпо	копро	4	1	Транспозиция. Отличие в двух байтах
21	кояро	коряо	2	1	Транспозиция. Отличие в одном байте
22	ко-рно	кор-но	2	1	Транспозиция. Меняются местами однобайтовый и двубайтовый символы

Как видно из табл. 3, алгоритм получает правильные результаты только для строк, написанных на латинице, где все символы находятся в блоке C0 Controls and Basic Latin [4] и имеют длину один байт. В случае, если длина символа более одного байта, результат работы алгоритма неверный.

Предлагаемые изменения в алгоритме. Модификация работы алгоритма Дамерау–Левенштейна для обеспечения работы с кодировками символов переменной длины в текстах на марийском и других языках заключается в следующем. Во-первых, предлагается ввести четыре дополнительные функции для работы со строками переменной длины:

int char_len (char ch) – определяет фактический размер символа в байтах, по первому байту символа;

bool cmp_char (const char* str1, int pos1, int char_len1, int str_len1, const char* str2, int pos2, int char_len2, int str_len2) – сравнение двух символов в заданных позициях в двух разных строках;

int str_len (const char* str, int byte_len) – определение фактической длины строки в символах, а не в байтах;

string get_char (string str, int pos) – получение символа в заданной позиции, символ возвращается как строка, которая может содержать от одного до шести байт.

Ниже на рис. 2 приводится пример задания этих четырех функций для кодировки UTF-8 на языке C++.

Во-вторых, после задания этих дополнительных функций их необходимо вызывать везде, где необходимо выполнить соответствующие операции. В теле основного цикла необходимо также задать переменную, которая хранила бы размер текущего символа, и увеличивать при расчетах в цикле текущую позицию в строке не на единицу, а на длину текущего символа в байтах. На рис. 3 показана диаграмма деятельности для алгоритма Дамерау–Левенштейна после внесения изменений.

```
int char_len(char ch) {
   if (((ch>>7) & 1) == 0) {
      return 1;
   }
   if (((ch>>5) & 7) == 6) {
      return 2;
   }
   if (((ch>>4) & 15) == 14) {
      return 3;
   }
   if (((ch>>3) & 31) == 30) {
      return 4;
   }
   if (((ch>>2) & 63) == 62) {
      return 5;
   }
   if (((ch>>1) & 127) == 126) {
      return 6;
   }
}

bool cmp_char(const char* str1, int pos1, int char_len1, int str_len1, const char* str2, int pos2,
int char_len2, int str_len2)
{
   if (char_len1!=char_len2) {
      return false;
   }
   if (str_len1<pos1+char_len1 || str_len2<pos2+char_len2) {
      return false;
   }
   for (unsigned chari=0; i<char_len1; i++) {
      if (str1[pos1+i]!=str2[pos2+i]) {
         return false;
      }
   }
   return true;
}

int str_len(const char* str, int byte_len) {
   int len=0;
   int pos=0;
   while (pos<byte_len) {
      char tek_len=char_len(str[pos]);
      pos+=tek_len;
      len++;
   }
   return len;
}

string get_char(string str, int pos) {
   return str.substr(pos,char_len(str.c_str()[pos]));
}
```

Рис. 2. Пример задания функций для работы с кодировкой переменной длины UTF-8 на языке программирования C++

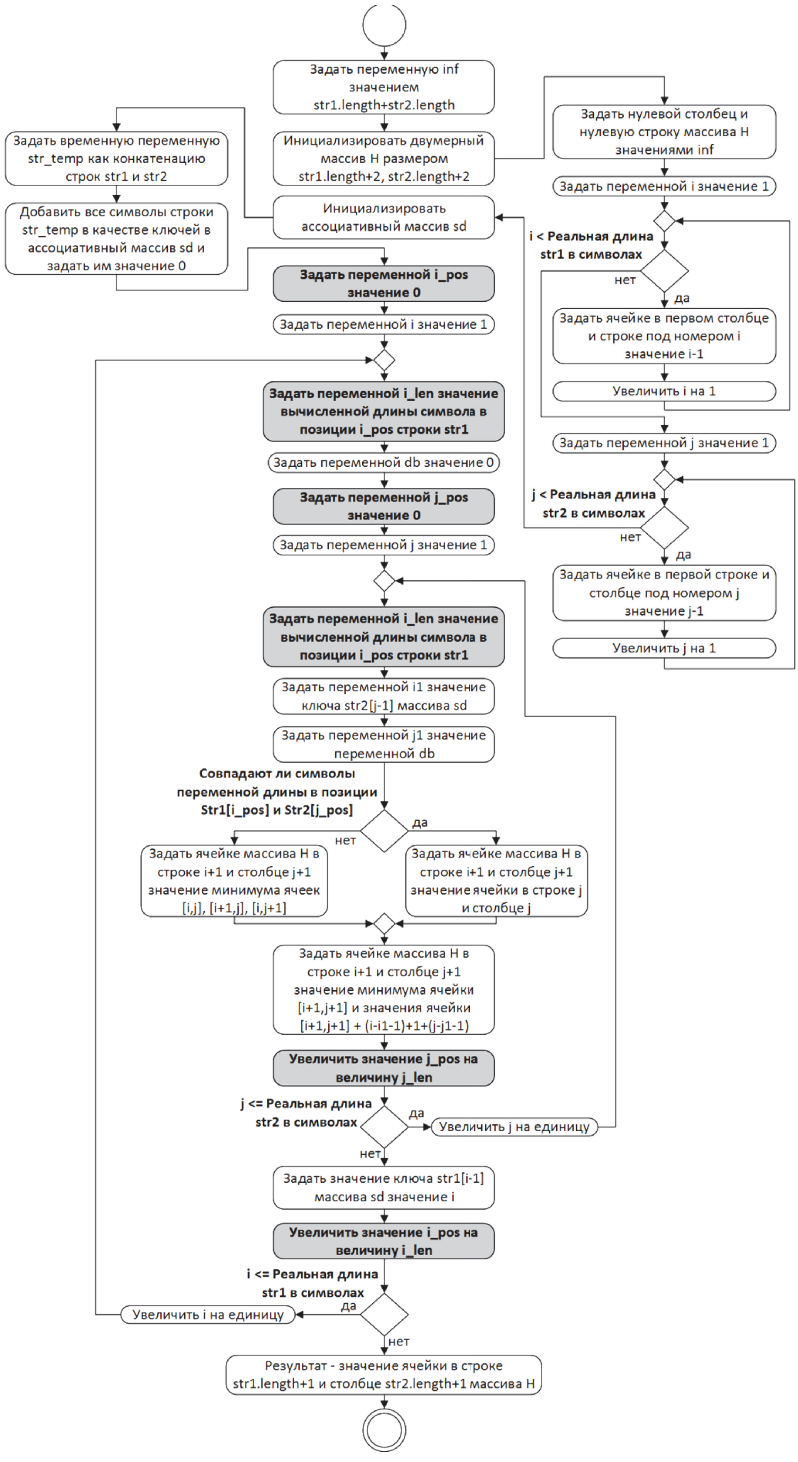


Рис. 3. Диаграмма деятельности модифицированного алгоритма

Изменения, внесенные в диаграмму, отображены полужирным шрифтом. Блоки, обозначающие действия, дополнительно выделены серым цветом фона. В случае, если работа происходит с другой кодировкой с переменной длиной символов (не с UTF-8), необходимо переопределить всего одну функцию char_len.

Выводы. Алгоритм Дамерау–Левенштейна широко применяется в компьютерной лингвистике, в частности в системах верификации орфографии и грамматики, а также в лингвистических моделях.

Этот алгоритм хорошо справляется с однобайтными кодировками, но представление текстов на некоторых языках возможно только с использованием кодировок с переменной длиной символов, в частности тексты на марийском языке можно представить только в кодировках стандарта Юникод.

В результате вычисления реальной длины символа предложенная модификация алгоритма Дамерау–Левенштейна, реализованного в компьютерной системе, позволяет определить меру разницы двух строк, закодированных не только в однобайтовых кодировках, но и в кодировках с переменной длиной символов в текстах на многих языках, в том числе и финно-угорской группы.

Литература

1. *Килеев В.В.* Компоненты архитектуры компьютерной системы верификации орфографии финно-угорских языков // Программные системы и вычислительные методы. 2012. № 1. С. 37-42.

2. *Килеев В.В., Сидоркина И.Г.* Анализ лингвистических конструкций формальной модели языка для верификации грамматики финно-угорского текста // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. Вып. 1. С. 14-20.

3. *Коробейников А.Г., Кудрин П.А., Сидоркина И.Г.* Алгоритм распознавания трехмерных изображений с высокой детализацией // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 2(9). С. 91-98.

4. C0 Controls and Basic Latin [Electronic resource]. URL: http://www.unicode.org/charts/PDF/U0000.pdf.

5. Cyrillic [Electronic resource]. URL: http://www.unicode.org/charts/PDF/U0400.pdf.

6. *Damerau F.J.* A technique for computer detection and correction of spelling errors // Communications of the ACM. 1964. Vol. 7, Issue 3. P. 171-176.

7. *Levenshtein V.I.* Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals // Soviet Physics Doklady: Proceedings of the Academy of Sciences of USSR, Physics section. 1996. Vol. 10.

СИДОРКИНА ИРИНА ГЕННАДЬЕВНА – доктор технических наук, профессор, декан факультета информатики и вычислительной техники, Поволжский государственный технологический университет, Россия, Йошкар-Ола (igs592000@mail.ru).

SIDORKINA IRINA GENNADYEVNA – doctor of technical sciences, professor, dean of Computer Science and Computer Engineering Faculty, Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola.

КИЛЕЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВАСИЛЬЕВИЧ – аспирант кафедры информационно-вычислительных систем, Поволжский государственный технологический университет, Россия, Йошкар-Ола (slavakileev@yandex.ru).

KILEEV VIATCHESLAV VASILYEVICH – post-graduate student of Data-Processing Systems Chair, Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola.

УДК 004.056
ББК 67.408

И.Г. СИДОРКИНА, А.Н. САВИНОВ

ТРИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К КСИИ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАВИАТУРНОГО ПОЧЕРКА ОПЕРАТОРА

Ключевые слова: *клавиатурный почерк, идентификация, аутентификация, авторизация, верификация.*

Предложены три алгоритма организации управления доступом к КСИИ, реализующих аутентификацию, идентификацию и верификацию законного оператора по клавиатурному почерку. Методы аутентификации по биометрическим параметрам личности, в том числе и по клавиатурному почерку, ввиду неотъемлемости биометрических характеристик от конкретного человека способны обеспечить повышенную, по сравнению с другими способами проверки соответствия, точность, невозможность отказа от авторства и удобство для операторов автоматизированных систем. Методы постоянного скрытого клавиатурного мониторинга позволяют обнаруживать подмену законного оператора и блокировать ключевую систему от вторжения злоумышленника.

I.G. SIDORKINA, A.N. SAVINOV

THREE ALGORITHMS OF CONTROL ACCESS TO THE KSII ON THE BASIS OF RECOGNITION OF KEYSTROKE DYNAMICS

Key words: *keystroke dynamics, identification, authentication, authorization, verification.*

The paper proposes three algorithms organizations to control access to the KSII implement authentication, identification and verification of the legal operator keystroke dynamics. Authentication Methods for Biometric identity, including the keystroke dynamics, due to the irrevocable biometric characteristics of a particular person, able to provide increased, compared with other methods of checking compliance, accuracy, non-repudiation and convenience for operators of automation systems. Procedures for the permanent hidden keystroke monitoring can detect spoofing legitimate operator and block key system from malicious intrusion.

Методы аутентификации по биометрическим параметрам личности, в том числе и по клавиатурному почерку (КП), ввиду неотъемлемости биометрических характеристик от конкретного человека способны обеспечить повышенную, по сравнению с другими способами проверки соответствия, точность, невозможность отказа от авторства и удобство для операторов автоматизированных систем. Методы постоянного скрытого клавиатурного мониторинга позволяют обнаруживать подмену законного оператора и блокировать ключевую систему (КС) от вторжения злоумышленника. Таким образом, задача исследования моделей, методов и алгоритмов распознавания клавиатурного почерка операторов ключевых систем является актуальной на данный момент. Основными характеристиками КП являются время удержания клавиш и время между нажатиями клавиш. В процессе разработки системы анализа КП операторов ключевой системы необходимо разработать алгоритмы регистрации оператора (обучения), аутентификации и авторизации оператора, а также верификации и идентификации.

Клавиатурный почерк – это набор динамических характеристик работы на клавиатуре. Стандартная клавиатура позволяет измерить следующие временные характеристики: время удержания клавиши нажатой и интервал времени между нажатиями клавиш. Как было выявлено в работе [8], используя алгоритмы распознавания времени удержания клавиш (ВУК) и методы распознавания КП по свободному тексту, можно построить систему постоянного скрытного мониторинга, позволяющую верифицировать законного оператора.

Время удержания клавиши – это период, в течение которого клавиша находится в нажатом состоянии. Программное обеспечение измеряет этот показатель от момента нажатия клавиши (событие «onkeydown») до момента ее отпускания (событие «onkeyup»). Этот параметр, как правило, выражают в миллисекундах. **Среднее**

время удержания клавиши – это математическое ожидание выборки показателей времени удержания конкретной клавиши, собранной за период набора фрагмента текста. Эмпирические исследования базы эталонов КП операторов показали, что время удержания зависит также от наложений, ритмичности и безошибочности. Среднее время удержания может существенно различаться у разных людей при близких скоростях набора из-за разницы в методике, используемой наборщиком.

Наложение движений – одновременные движения нескольких пальцев у наборщиков, уверенно владеющих методом печати. Наложение нажатий клавиш происходит, когда одна клавиша еще не отпущена, а другая уже нажимается. Наблюдается тенденция к повышению количества наложений с повышением скорости набора. Подавляющее большинство наложений происходит, когда клавиши соседних букв в слове нажимаются разными пальцами. Однако при очень быстром наборе скольжениями наложения также возможны.

Наложения происходят по следующим причинам: высокая скорость печати, при которой наборщик не успевает отпускать предыдущие клавиши до нажатия следующих; большое время удержания клавиш нажатыми; сочетание первого и второго факторов.

Установлено, что при одинаковой скорости печати, как правило, на постановке «ЫВАМ ТОЛД» наложений больше, чем на «ФЫВА ОЛДЖ», а при динамическом наборе – больше, чем при наборе по зонам. Возрастание количества наложений обусловлено увеличением числа сочетаний, которые нажимаются разными пальцами. Выявлено, что чем отрывистее удар и ритмичнее печать, тем меньше наложений. Когда клавиши скорее нажимаются, чем ударяются, а ритмичность невысока, наложений получается больше. При очень отрывистой печати время удержания клавиши нажатой может составлять 65 мс и меньше, а при нажатиях с большим числом наложений – 120 мс и больше. Среднее время удержания, как правило, составляет 80-100 мс. Пример набора текста с наложениями можно увидеть на рис. 1.

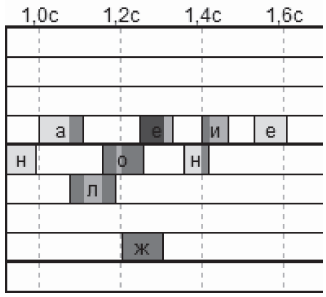


Рис. 1. Набор слова «наложение» с наложениями клавиш

Можно различить три вида наложений:

1. В момент удержания первой клавиши происходит нажатие второй. Клавиша «К1» нажимается. Далее происходит нажатие клавиши «К2», но «К1» ещё не отпущена. Затем происходит отпускание клавиши «К1», далее отпускается клавиша «К2».

2. В момент удержания одной клавиши происходит отпускание другой клавиши, т.е. первая клавиша была нажата в момент удержания второй. «К2» нажата. «К1» нажимается. После этого происходит отпускание клавиши «К2» и затем «К1».

3. Нажатие и отпускание клавиши происходят во время удержания другой клавиши. Нажата клавиша «К2», происходят нажатие и отпускание «К1» и затем отпускание «К2».

Эмпирические исследования клавиатурных почерков операторов [7] показало, что ВУК при наборе текста является бимодальным, а не нормальным распределением. Таким образом методы и модели, предлагаемые для определения ВУК как математического ожидания нормального распределения [8], имеют значительную погрешность и не отображают реальных зависимостей процесса набора текста.

В качестве примера приведём анализ выборки ВУК «А» при наборе случайного фрагмента текста (см. табл. 1). Во время набора текста клавиша «А» была нажата 91 раз. Если предположить, что ВУК подчиняется законам нормального распределения, то можно рассчитать математическое ожидание как среднее ВУК. При таком подходе получим математическое ожидание = 96 мс. Но из табл. 1 видно, что пики распределений приходятся на 35-37 мс, 68-72 мс и 104-108 мс. Инструмент анализа данных PAST version 217b [9] позволяет разделить выборку на 2 пересекающихся нормальных распределения

(рис. 2), математическими ожиданиями которых являются 86 и 106 мс. То есть отклонение от рассчитанного ранее математического ожидания – 10 мс, что составляет от 7% до 30% от измеряемой величины.

В качестве разделителя выборок можно использовать математическое ожидание нормального распределения, но этот подход не отображает причин возникновения бимодального распределения. Из табл. 1 видно, что во второе нормальное распределение элементы попадают в случае, если набор происходил с наложениями клавиш.

Таким образом, используя простой механизм определения наличия наложения клавиш при наборе, можно получить две независимые выборки и две величины математического ожидания ВУК для каждой клавиши, характеризующие КП оператора КСИИ, что, в свою очередь, увеличит точность идентификации оператора, т.е. снизит вероятность возникновения ошибок 1- и 2-го рода [5]. При этом каждая из выборок подчиняется нормальному закону распределения, а значит, к ней применима математическая модель ВУК, разработанная в [6].

Таблица 1

Выборка ВУК клавиши «А»

ВУК клавиши, мс	Количество значений данного ВУК в выборке	Вероятность встречи ВУК в выборке, %	Количество встреченных наложений
32	2	7,14	0
35	2	7,14	0
36	5	17,86	0
37	2	7,14	0
38	1	3,57	0
67	1	3,57	0
68	3	10,71	0
69	1	3,57	0
70	3	10,71	0
71	2	7,14	0
72	4	14,29	0
73	1	3,57	0
74	1	3,57	0
102	1	3,57	1
103	1	3,57	1
104	4	14,29	3
105	13	46,43	13
106	10	35,71	10
107	10	35,71	10
108	8	28,57	8
109	1	3,57	1
110	1	3,57	1
140	1	3,57	1
141	1	3,57	1
142	3	10,71	3
143	3	10,71	3
144	4	14,29	4
145	2	7,14	2

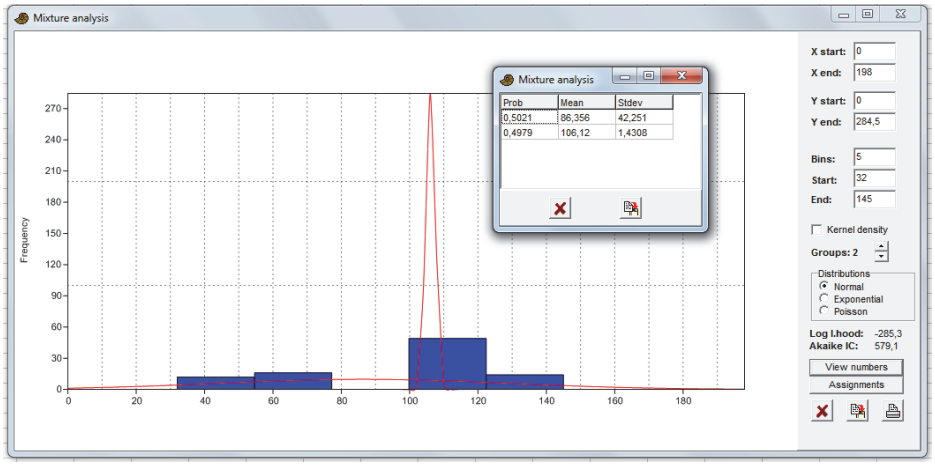


Рис. 2. Анализ выборки ВУК программным инструментом PAST

Алгоритм регистрации клавиатурного почерка. Построение систем биометрической идентификации основано на создании эталонных представлений идентифицируемых лиц. Эталон создается тогда, когда система находится в режиме обучения. Он представляет собой сохраненные в памяти системы, контролирующей доступ, биометрические характеристики человека и используется для сравнения с биометрическими параметрами лиц, претендующих на доступ к ресурсам. В случае, когда измеренные системой значения параметров пользователя отличаются от эталона больше, чем допускается порогом чувствительности, он получает отказ в доступе к ресурсам.

Работу алгоритма можно представить диаграммой деятельности (см. рис. 3). Для выявления усредненных значений времени событий клавиатуры используется вероятностно-статистический метод, поэтому необходим сбор статистики, состоящей из выборки временных значений, где элементом выборки будет являться время удержания клавиши. Алгоритм основан на математической модели, разработанной в [6].

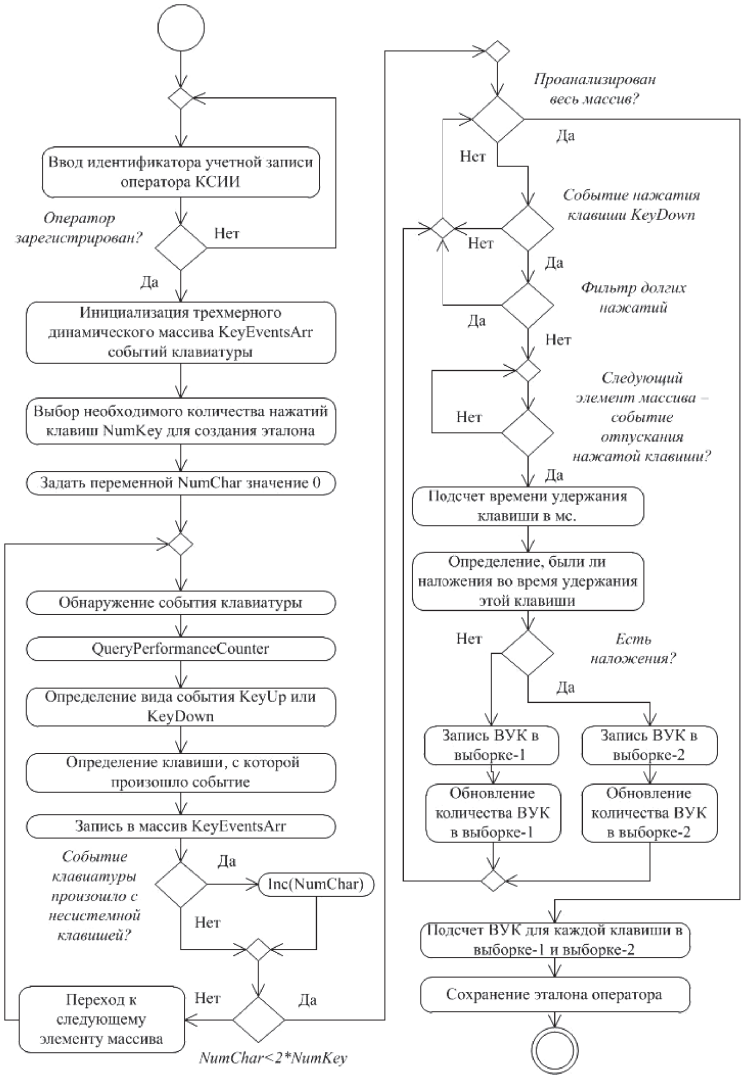


Рис. 3. Диаграмма деятельности алгоритма регистрации КП

В данном алгоритме выполняется процесс получения информационного файла – получения эталона КП оператора. Для этого в начале выполнения производится идентификация оператора по его уникальному идентификатору, например логину.

Инициализируется динамический трехмерный массив KeyEventsArr, в котором сохраняются события клавиатуры в следующем виде – см. табл. 2. Массив заполняется, пока не будет нажато достаточное (задаваемое администратором или установленное по умолчанию) количество клавиш.

Таблица 2

Структура массива KeyEventsArr

Кл1	**…**	**КлN**
Событие KeyUp или KeyDown	…	Событие KeyUp или KeyDown
Тик счетчика высокого разрешения, на котором произошло событие	…	Тик счетчика высокого разрешения, на котором произошло событие

На следующем этапе происходит подсчет времени удержания клавиш. Находится событие нажатия конкретной клавиши. Затем находится событие отпускания этой клавиши. Из тика события отпускания вычитается тик события нажатия и делится на частоту счётчика высокого разрешения для получения значения ВУК в миллисекундах. Тики событий определяются функцией QueryPerformanceCounter, частота счётчика – функцией QueryPerformanceFrequency [7]. На многоядерных системах используется функция SetThreadAffinityMask, чтобы указать родственность процессора для системы.

Алгоритм подразумевает фильтр долгих нажатий на клавишу, применяемых наборщиком для ввода *n*-грамм одинаковых букв, например «мм» в слове «программа» или «ССС» в «СССР». В алгоритме также имеется фильтр нажатия системных клавиш (например, BACKSPACE или ENTER), нажатие которых не сохраняется в эталоне.

В зависимости от наличия или отсутствия наложений при удержании клавиши значение ВУК заносится в выборку первого (без наложений) или второго (с наложениями) нормального распределения. Затем подсчитывается математическое ожидание каждой выборки, и эталон КП сохраняется в учетной записи оператора. Эталонный информационный файл оператора имеет следующую структуру (см. табл. 3).

Таблица 3

Структура информационного файла

Клавиша	**ВУК-1**	**ВУК-2**	**Количество**	**Количество**	**Выборка нормального распределения-1**	**Выборка нормального распределения-2**
А						
Б						
…						
я						

Так как свободный текст, по которому проводится обучение или дальнейшие процедуры аутентификации и идентификации, имеет разную вероятность встречаемости разных букв и символов [6], сбор достаточной для проведения вероятностно-статистического анализа выборки ВУК требует ввода очень большого текста (от 5000 символов и больше). Поэтому предложено ввести в информационный файл поля «количество» и «выборка».

В поле «выборка» сохраняются ВУК, разделяемые знаком «;», в поле «количество» заносится количество элементов в выборке. При достижении достаточного количества элементов в поле «выборка» подсчитывается ВУК, поле «выборка» очищается, в поле «количество» заносится символ «!», который используется для обозначения факта окончания подсчёта ВУК этой клавиши. Дальше элементы в поле «выборка» заноситься не будут. Если в процессе обучения достаточное количество элемен-

тов выборки не собрано, то будет рассчитано временное значение ВУК, а процесс сбора и расчета ВУК продолжится при работе алгоритмов авторизации и мониторинга при подтверждении, что текст набирает законный оператор, которому соответствует данный эталон. При аутентификации и идентификации преимущество будут иметь законченные выборки ВУК клавиш, им будут присвоены большие коэффициенты влияния, предложенные в [5], незаконченным – меньший. Предложено разделить алфавит системы на несколько групп в зависимости от вероятности встречаемости в текстах.

Алгоритм аутентификации и авторизации. Авторизация – предоставление определённому лицу или группе лиц прав на выполнение определённых действий, а также процесс проверки (подтверждения) данных прав при попытке выполнения этих действий. Обычно процессу авторизации предшествует процесс аутентификации – подтверждение подлинности, соответствия оператора предъявленному им идентификатору.

Предложенный алгоритм аутентификации и последующей авторизации представлен на рис. 4. В данном алгоритме сравнение происходит по принципу «один к одному», поэтому загружается эталон конкретного оператора, идентификатором которого он представился. В случае успешной аутентификации происходит процесс авторизации, в противном случае – отказ.

Главное отличие этого алгоритма от предыдущего состоит в том, что здесь для определения почерка используется меньшее количество нажатий клавиш. Обычно пароль состоит из 14-20 символов. Этот факт требует дополнительной настройки порога доступа для уменьшения ошибок первого и второго рода. Порог доступа можно настроить, проанализировав локальную базу эталонов клавиатурных почерков операторов, имеющих доступ к конкретной КСИИ. Сравнение текущего образца КП оператора КСИИ с эталонным происходит путём расчета меры Евклида для каждой клавиши, при этом ВУК-1 и ВУК-2 сравниваются как отдельные элементы:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (A_i - B_i)^2} .$$

Полученное значение непохожести, рассчитанное как мера расстояния Евклида, сравнивается с порогом доступа. Если непохожесть меньше порога доступа, то оператор проходит процедуру авторизации, иначе получает отказ.

Алгоритм постоянного скрытного клавиатурного мониторинга (верификации оператора). Парольные и атрибутные методы идентификации и аутентификации имеют ряд существенных недостатков.

Первый из них – неоднозначность идентификации пользователя и возможность обмана системы защиты (например, путем кражи или подделки атрибута или взлома пароля).

Второй по значимости недостаток традиционных методов идентификации и аутентификации – отсутствие возможности обнаружения подмены авторизированного пользователя (например, злоумышленник может воспользоваться ситуацией, когда оператор произвел вход в систему и отлучился, оставив КС без присмотра и не заблокировав ее).

Методы постоянного скрытого клавиатурного мониторинга позволяют обнаруживать подмену законного пользователя и блокировать КС от вторжения злоумышленника.

Диаграмма деятельности алгоритма постоянного скрытного клавиатурного мониторинга и верификации оператора представлена на рис. 5. Массив DynamicKeyEvetsArr имеет небольшие размеры от 10 до 40 элементов и может быть выбран, например, в зависимости от интервала копирования оператора [11]. Интервал копирования – это число символов, которые могут быть напечатаны в точности после одно-

кратного просмотра текста. Солтхаус установил, что интервал копирования в обычной ситуации перепечатки у опытного наборщика составил в среднем 14,6 символа [10]. Текущие характеристики КП определяются по этому массиву. Массив динамически обновляется при вводе текста. Элементы, введенные раньше, удаляются, и ВУК рассчитывается динамически по добавленным новым элементам.

При обнаружении подмены законного оператора измеряется частота счётчика высокого разрешения, и если она изменилась, то ВУК считается снова, и почерки сравниваются ещё раз. Если частота не изменялась или пересчитанный текущий почерк не совпадает – КСИИ блокируется. Система пытается идентифицировать злоумышленника по базе КП, хранящихся в системе. Передается сигнал тревоги в службу безопасности.

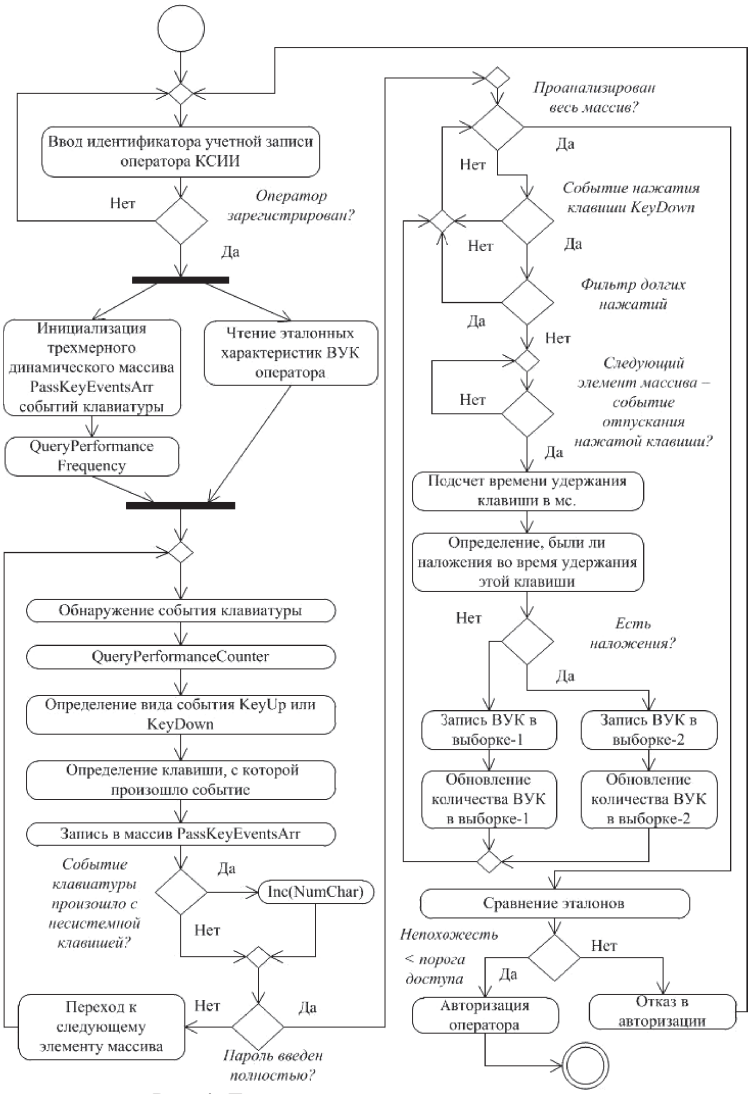


Рис. 4. Диаграмма деятельности алгоритма аутентификации и авторизации

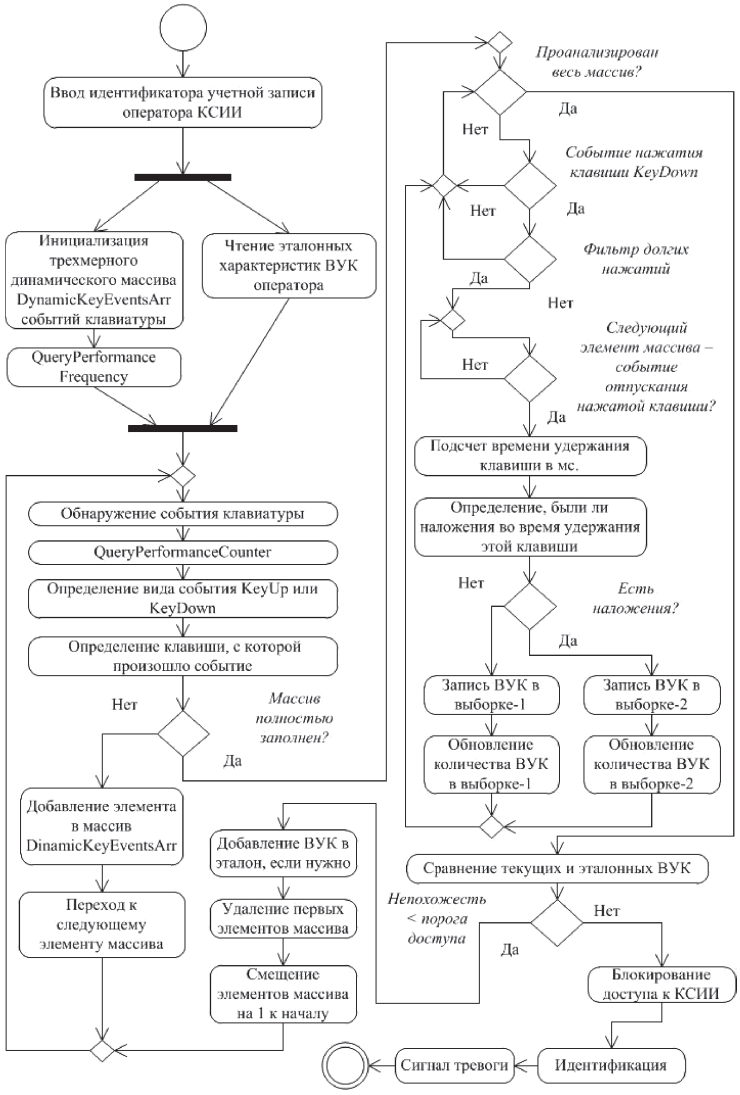


Рис. 5. Диаграмма деятельности алгоритма постоянного скрытного мониторинга

Если почерки совпадают и имеются введенные символы, для которых подсчёт ВУК не закончен, то такие элементы добавляются в соответствующую выборку и происходит перерасчёт ВУК. Если в этот момент набрано достаточное для обучения количество элементов в выборке, то поле «выборка» очищается и в поле «количество» информационного файла ставится метка «!». Данный метод можно также использовать и при переобучении всего эталона почерка оператора в случае изменений клавиатурного почерка, например вызванных совершенствованием оператором техники печати.

Выводы. Предложено использовать в качестве представления ВУК при анализе клавиатурного почерка бимодальное распределение вместо нормального распределе-

ния. Бимодальное распределение предложено разделять на два нормальных, что позволит применять математическую модель клавиатурного почерка, основанную на распределении Гаусса.

Разработаны три алгоритма управления доступом, основанные на распознавании клавиатурного почерка. Алгоритм обучения позволяет сохранить биометрические характеристики клавиатурного почерка как бимодальное распределение. Алгоритм аутентификации и авторизации позволяет распознать оператора КСИИ и проверить его соответствие указанной им учетной записи. Алгоритм постоянного скрытного клавиатурного мониторинга позволяет защитить КСИИ от вторжения злоумышленников путём подмены законного пользователя.

Литература

1. *Гатчин Ю.А., Ермаков Н.В., Коробейников А.Г., Строганов К.В.* Основные аспекты создания системы защиты периметра корпоративной информационной системы // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 40. С. 279-283.

2. *Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Коробейников А.Г.* Математические модели оценки инфраструктуры системы защиты информации на предприятии // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 2. С. 92-95.

3. *Коробейников А.Г., Гатчин Ю.А., Липатов А.Л., Осломенко Д.В.* Законодательные требования в области обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем // Сборник тезисов IV межвузовской конференции молодых ученых. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 165 с.

4. *Коробейников А.Г., Кудрин П.А., Сидоркина И.Г.* Алгоритм распознавания трехмерных изображений с высокой детализацией // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 2(9). С. 91-98.

5. *Савинов А.Н., Иванов В.И.* Анализ решения проблем возникновения ошибок первого и второго рода в системах распознавания клавиатурного почерка // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. Сер. Информатика. 2011. Вып. 18. С. 115-119.

6. *Савинов А.Н., Сидоркина И.Г.* Нормальное распределение при анализе клавиатурного ввода при разработке математической модели клавиатурного почерка // Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды: материалы III Междунар. конф. (Махачкала. 9-15 октября, Махачкала). Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2012. Т. 2. С. 115-119.

7. *Савинов А.Н., Сидоркина И.Г.* Решение проблемы измерения времени удержания клавиш при разработке системы анализа клавиатурного почерка // ИКТ: образование, наука, инновации: труды III Междунар. науч.-практ. конф. Алматы: МУИТ, 2012. С. 328-333.

8. *Савинов А.Н., Сидоркина И.Г., Иванов В.И.* Анализ решения проблемы использования клавиатурного подчерка для обеспечения безопасности ключевой системы предприятия // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'11»: сб.: в 4 т. М.: Физматлит, 2011. Т. 3. С. 40-47.

9. PAST PAlaeontological STatistics [Electronic resource]. URL: http://folk.uio.no/ohammer/past.

10. *Salthouse T.A.* Anticipatory processing in transcription typing // J. Appl. Psychol. 1970. Vol. 2. P. 264-271.

11. *Salthouse T.A.* Perceptual, cognitive, and motoric aspects of transcription typing // Psychol. Bull. 1999. Vol. 3. P. 303-319.

СИДОРКИНА ИРИНА ГЕННАДЬЕВНА. См. с. 292.

САВИНОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – аспирант кафедры информационно-вычислительных систем, Поволжский государственный технологический университет, Россия, Йошкар-Ола (Homo-asio-otus@yandex.ru).

SAVINOV ALEXANDR NIKOLAEVICH – post-graduate student of Data-Processing Systems Chair, Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola.

УДК 621.785
ББК 34

И.Р. ШАНГАРАЕВ, Д.Э. ВЕЛИЕВ,
Н.А. ГАЛАНИНА, В.В. ЗВЕЗДИН

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЙ В СТАЛЯХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Ключевые слова: *лазерное излучение, ультразвук, прошивка отверстий, плотность мощности, плавление, фокусное пятно, энергоэффективность.*

Рассмотрен один из перспективных способов сверления отверстий в металлических изделиях в машиностроении – лазерная прошивка. Построена математическая модель температурного поля в зоне взаимодействия лазерного излучения на металл, которая с учетом допущений позволяет без ущерба для точности получаемых результатов заменить трехмерную задачу плоской. Показано, что при положении фокусного пятна на расстоянии, превышающем толщину самой детали, прошивка отверстия становится сложным, малоэффективным и энергозатратным процессом. Выявлена зависимость глубины прошивки отверстий от различных фокусных расстояний лазерного излучения. Получены основные параметры управления лазерным излучением, которые эффективно влияют на качество технологического процесса прошивки отверстий, что позволяет проводить прецизионную обработку металлов.

I.R. SHANGARAEV, D.E. VELIEV, N.A. GALANINA, V.V. ZVEZDIN

METHOD OF CONTROL OF LASER HOLES DRILLING IN METALLS BASED ON ANALYSIS OF ULTRASONIC VIBRATIONS

Key words: *laser radiation, ultrasound, drilling, power density, melting, focal spot, energy efficiency.*

Considered laser holes drilling - one of the most promising ways to drill holes in metallic products in mechanical engineering. Constructed mathematical model of temperature field in the zone of interaction of laser radiation with the metal, which allow replace three-dimensional problem by a flat without compromising the accuracy of the obtained results. It was shown that the positioning of the focal spot at a distance greater than the thickness of the part itself becomes drilling complex, inefficient and energy-intensive process. Detected dependence of the depths of hole from the different focal length of the laser radiation for metals. Laser processing of materials provided a new level of quality and efficiency of the process, and set the stage for a brand new design and technological solutions in mechanical engineering.

Процесс лазерной прошивки металлов. Лазерное сверление часто бывает выгодно или незаменимо при получении отверстий в очень твердых материалах. Образование большого объема жидкой фазы металла и его неполное удаление из зоны обработки являются неблагоприятным и трудноуправляемым фактором, существенно снижающим эффективность обработки и качество отверстия. Основным методом повышения точности и качества лазерной размерной прецизионной обработки является многоимпульсная обработка материалов лазерным излучением [1, 5].

Цель исследования заключалась в определении оптимальной величины плотности потока и положения фокусного пятна лазерного излучения (ЛИ) для наиболее эффективной прошивки отверстий (ПО) в соответствии с требуемыми показателями качества, предъявляемыми заказчиком. В исследовании использовались образцы различных металлов.

Как правило, при лазерной ПО не используется удаление газовым потоком продуктов разрушения металла, особенно в случае, если отверстие не является сквозным. Возникает проблема, связанная с оптимизацией энерговклада, который определяется длительностью импульса ЛИ и напряжением разряда [2].

Если длительность импульса τ достаточно мала и оптический разряд в окружающем газе за время τ не возникает, то эффективный коэффициент поглощения A_{ef} может достигать высоких значений. Из этого следует, что эффективность передачи энергии ЛИ обрабатываемому материалу характеризует коэффициент полезного действия процесса лазерной обработки. Его можно представить следующим выражением:

$$A_{ef} = \frac{Q_{\text{ЛАЗ}} + Q_W}{Q_S}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ЛАЗ}}$ – энергия ЛИ, поглощенная на стенках канала; Q_w – часть энергии факела, поглощаемая стенками канала в результате лучистого и конвективного теплообмена; Q_S – плотность мощности ЛИ.

Глубина определяется суммарным действием серии импульсов, а диаметр – параметрами отдельного импульса. Если длительность импульса составляет менее 1,5 мс, то толщина испаряемого материала из зоны мала и отсутствует напряженность приповерхностных слоёв.

Уравнение энергетического баланса при воздействии ЛИ на металл. Процесс воздействия ЛИ на металлы можно описать энергетическим уравнением [5]:

$$W_{\text{ЛИ}} + W_{\text{наддува}} + W_{\text{свет.давл.}} = W_{\text{плавл.}} + W_{\text{мех.кол.}} + W_{\text{отраж.}} + W_{\text{кин.}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ЛИ}}$ – энергия подводимого ЛИ в зону обработки; $W_{\text{наддува}}$ – давление защитного газа; $W_{\text{свет.давл.}}$ – механическая энергия воздействия ЛИ на поверхность металла; $W_{\text{плавл.}}$ – энергия, затрачиваемая на плавление металла и его испарение; $W_{\text{мех.кол.}}$ – энергия механических колебаний ЛИ; $W_{\text{отраж.}}$ – отраженная энергия из зоны взаимодействия ЛИ с металлом; $W_{\text{кин.}}$ – энергия, затрачиваемая на вылет частиц расплавленного металла.

Подводимые энергии: $W_{\text{ЛИ}}$ – энергия подводимого ЛИ в зону обработки; $W_{\text{наддува}} = m\upsilon_1^2 / 2$ – энергия давления защитного газа.

Расходуемые энергии: $W_{\text{плавл.}} = c\gamma(T)\dfrac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div}\vec{W}$, где $\vec{W} = -\lambda_T(T)\overrightarrow{\operatorname{grad} T}$ – тепловой поток; λ_T – коэффициент теплопроводности; $W_{\text{отраж.}}$ – отраженная энергия (составляет около 30% от мощности ЛИ, так как температура металла превышает температуру плавления и коэффициент поглощения составляет 0,7); $W_{\text{мех.кол.}} = hv_{\text{фот}}$ – энергия, затрачиваемая на возбуждение механических колебаний в металле (составляет 5-6% от мощности ЛИ); $W_{\text{кин.}} = m\upsilon_2^2 / 2$ – энергия, затрачиваемая на вылет частиц расплавленного металла.

В процессе исследования проводилась съемка процесса лазерной ПО с помощью скоростной видеокамеры, что позволило определить динамику развития плазмы в зоне обработки, а также произвести подсчет необходимого количества импульсов для ПО. Наибольшая глубина получаемого отверстия достигается при фокусе ЛИ в глубине металла (таблица), наименьший диаметр обеспечивается при положении фокуса на поверхности (рис. 1).

Зависимость диаметра отверстия от положения фокусного пятна (напряжение 450 В, время импульса 2 мс, толщина 3 мм)

Положение фокусного пятна по глубине, мм	Количество импульсов	Диаметр отверстия		
0	3	0,75	0,6	1,75
1,2	5	1,25	0,7	0,4
2,6	10	1,5	1,1	0,75
3,96	>20	1,05	1,42	1,55

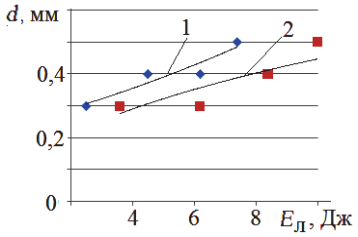


Рис. 1. Зависимость диаметра отверстия от вкладываемой энергии:
1 – фокус ЛИ на поверхности металла;
2 – фокус ЛИ в глубине металла

При этом глубина определяется суммарной энергией импульсов, а диаметр в основном зависит от положения фокусного пятна относительно поверхности изделия.

Для оценки глубины проплавления h можно использовать следующую формулу [1]:

$$h = \frac{P}{2\pi\lambda_т T_к} \ln \frac{r_л + a/\upsilon_{св}}{r_л}, \qquad (3)$$

где $\lambda_т$ – коэффициент теплопроводности материала; $T_к$ – температура кипения; a – коэффициент температуропроводности материала; P – мощность излучения; $r_л$ – радиус пятна.

Математическая модель температурного поля в зоне взаимодействия. В общем виде уравнение теплопроводности описывается следующим выражением [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \Delta T + Q, \qquad (4)$$

где Q – удельное количество теплоты, выделяемое тепловым источником; ΔT – изменение температуры.

С учетом начальных и краевых условий, а также нелинейного изменения теплофизических свойств материала преобразуем выражение (4) в систему уравнений, в состав которой входит дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$c(T)\gamma(T)\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_T(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right] - \frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda_T(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right] - \frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda_T(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right] = 0, \qquad (5)$$

где $c(T)$ – зависимость теплоемкости от температуры; $l_T(T)$ – зависимость теплопроводности от температуры.

Выражения, описывающие тепловой обмен на границах тела с окружающей средой, выглядят следующим образом:

$$q_T = \begin{cases} \alpha_T(T)(T - T_0), x = l_x, y = l_y, z = l_z, \\ -\alpha_T(T)(T - T_0)_i \{z = 0, (x, y) \notin g\}, x = -l_x, y = -l_y, \\ 0, y = 0 \end{cases} \qquad (6)$$

где $a_T(T)$ – зависимость коэффициента полной поверхностной теплоотдачи от температуры; T_0 – температура окружающей среды; T – температура поверхности; q_T – удельный тепловой поток вблизи границы тела.

Математическая модель температурного поля с учетом допущений позволяет без ущерба для точности получаемых результатов заменить трехмерную задачу плоской.

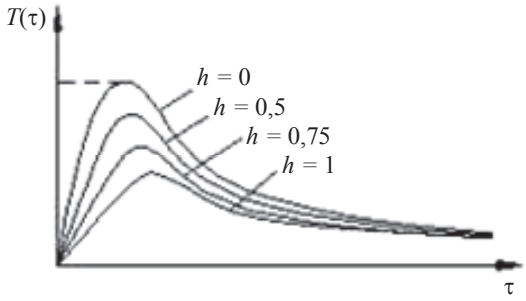


Рис. 2. Характер изменения температуры металла по глубине фокуса лазерного излучения от длительности импульса

Расчеты, проведенные по математической модели, позволили выявить диапазон изменения технологических параметров лазерного технологического комплекса (ЛТК), таких как энергия, диаметр пятна ЛИ, распределение интенсивности излучения в зоне нагрева для заданных технических характеристик ЛТК (рис. 2) [4]. Здесь представлены термические циклы элементарных объемов материала на различной глубине от поверхности.

Проведенный анализ возможных путей управления параметрами терми-

ческих циклов показал, что наиболее эффективным способом является изменение распределения плотности энергии и длительности импульса ЛИ в пятне нагрева.

При воздействии импульсного ЛИ на металл в зоне взаимодействия возникают упругие механические колебания с частотой 30-600 кГц [1]. Данные колебания подтверждаются наличием колец уплотнения на поверхности металла (рис. 3). На рис. 4 показан разрез стали 45 с отверстием.

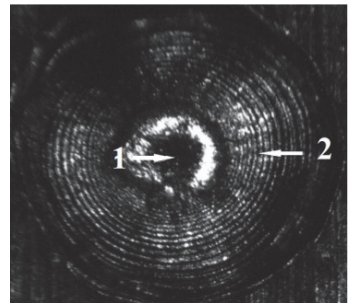


Рис. 3. Фото поверхности стали 45 после воздействия импульсного лазерного излучения: 1 – отверстие диаметром 0,5 мм в пластине толщиной 2 мм; энергия ЛИ – 12 Дж; напряжение 400 В; длительность импульса 3 мс; 2 – кольца уплотнения

Экспериментальные исследования показывают наличие зависимости диаметра отверстия от положения фокуса ЛИ и его энергии. Для оптимизации параметров ЛТК с целью минимизации энергетических затрат и повышения качества технологического процесса (ТП) необходимо регулировать энергетические параметры ЛТК, от которых зависят амплитуда и спектральный состав модуляционной функции ультразвуковых колебаний (УЗК).

Таким образом, модуляция представляет собой процесс преобразования информационного сигнала на известную несущую частоту, которая отвечает за показатели качества ТП. Позиционирование ЛИ относительно заданных размеров получаемых отверстий позволяет повысить характеристики точности выполняемой технологической операции, причем не только за счет программного управления положением фокуса ЛИ, но и за счет оптико-электронного метода измерения относительно начала координат [5].

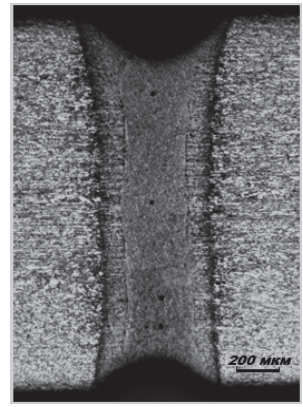


Рис. 4. Фото разреза отверстия в стали 45 после воздействия импульсного лазерного излучения (увеличение 50)

Спектр сигнала УЗК находится в области низких частот, но для повышения точности измерения параметров модуляционной функции, которая определяет показатели качества ТП, применяем несущую частоту УЗК.

Модуляция является нелинейным процессом. В качестве несущей частоты УЗК используется гармоническое колебание

$$U(t) = U_m \cos(\omega_0 + \varphi_0). \quad (7)$$

Модуляционный сигнал является гармоническим $s(t)$ колебанием

$$s(t) = U_S \cos(\Omega t + \Phi_0). \quad (8)$$

Для исключения влияния помех на производстве, изменения зависимостей между амплитудой УЗК и показателями качества ТП применяем модуляцию низкочастотных колебаний за счет включения высокочастотных УЗК.

Выводы. Анализ полученных зависимостей позволяет выделить основные параметры управления лазерным излучением, эффективно влияющие на качество технологического процесса прошивки отверстий. Это позволяет проводить прецизионную обработку металлов.

Литература

1. *Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И.* Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.

2. Исследование процесса влияния изменения мощности при газолазерной резке металлов / *В.А. Песошин, В.В. Звездин, С.М. Портнов и др.* // Вестник КГТУ им. Туполева. 2010. № 2. С. 43-46.

3. *Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П.* Физические основы лазерной обработки материалов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. 199 с.

4. Модель формирования микроструктур в металлах при лазерной обработке / *В.В. Звездин, А.В. Хамадеев, Р.Б. Каримов и др.* // Проектирование и исследование технических систем: межвуз. науч. сб. Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА, 2008. Вып. 11. С. 150-154.

5. Позиционирование лазерного излучения относительно сварного шва как показатель качества технологического процесса / *В.В. Звездин, А.В. Хамадеев, Р.Г. Загиров и др.* // Вестник КГТУ им. Туполева, 2008. № 3. С. 17-21.

ШАНГАРАЕВ ИЛЬДАР РАИСОВИЧ – аспирант кафедры высокоэнергетической и пищевой инженерии, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, Набережные Челны (Ildar_chelni2010@mail.ru).

SHANGARAEV ILDAR RAISOVICH – post-graduate student of High-Energy and Food Engineering Chair, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Russia, Naberezhnye Chelny.

ВЕЛИЕВ ДАВИД ЭЛМАНОВИЧ – аспирант кафедры высокоэнергетической и пищевой инженерия, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, Набережные Челны (gotoindvdum@gmail.com).

VELIEV DAVID EHLMANOVICH – post-graduate student of High-Energy and Food Engineering Chair, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Russia, Naberezhnye Chelny.

ГАЛАНИНА НАТАЛИЯ АНДРЕЕВНА. См. с. 266.

ЗВЕЗДИН ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор технических наук, доцент кафедры высокоэнергетической и пищевой инженерии, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Россия, Набережные Челны.

ZVEZDIN VALERIY VASILYEVICH – doctor of technical sciences, associate professor of High-Energy and Food Engineering Chair, Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan (Volga region) Federal University, Russia, Naberezhnye Chelny.

УДК 697.921.4:537.871.7.08
ББК 3766:3873-5

А.П. АЛЕКСЕЕВ, О.Н. ЯДАРОВА

ДОПЛЕРОВСКИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ*

Ключевые слова: *ультразвук, доплеровские спектры, воздушный поток, вентиляторная установка.*

Предлагается система дистанционного ультразвукового контроля воздушных потоков. Для оценки параметров потока используются доплеровские спектры обратного рассеяния ультразвукового сигнала на турбулентных флуктуациях. Представлены лабораторная экспериментальная установка и результаты калибровки ультразвуковой системы контроля. Показана возможность использования ультразвука для контроля и управления вентиляторными установками.

A.P. ALEKSEEV, O.N. YADAROVA

THE DOPPLER ULTRASONIC CONTROL OF THE VENTILATOR SYSTEM CAPACITY

Key words: *ultrasonic, Doppler spectrum, air flow, ventilator system.*

The article proposes a system for remote ultrasonic control of air flow. Doppler spectra of backscattered ultrasound signal on the turbulent fluctuations are used to estimate the flow parameters. The experimental laboratory system and the results of ultrasonic system calibration are described. It is shown the possibility to use the ultrasonic for the monitoring and control of ventilator systems.

При испытаниях промышленных вентиляторных, насосных агрегатов на предприятиях аграрно-промышленного комплекса (прежде всего для контроля систем вентиляции овощехранилищ и в установках для сушки сельхозпродукции) нужны соответствующие системы диагностики и автоматического управления. Для измерения скорости воздушных потоков могут использоваться как контактные, так и бесконтактные (дистанционные) методы. Контактные методы [1, 2] позволяют измерить локальную скорость, неизбежно приводят к искажению структуры потока и не всегда позволяют проводить контроль открытого неоднородного потока с большими пространственными размерами. Кроме того, воздушные потоки, образуемые, например, вентиляторами, являются турбулентными и характеризуются значительной пространственно-временной неоднородностью [4]. В этом случае удобно пользоваться дистанционными методами измерения – оптическими или ультразвуковыми.

Ультразвуковые (УЗ) методы контроля воздушных потоков имеют несколько меньшее разрешение, чем оптические (лазерное зондирование или пассивные измерения в ультракрасном диапазоне). При этом ультразвуковые измерения оказываются существенно дешевле, надежнее и позволяют проводить контроль потока в относительно большем пространственном объеме из-за широкой направленности ультразвукового излучения, в том числе – в сильно запыленных помещениях.

В статье приводятся результаты лабораторных испытаний и калибровки ультразвуковой системы контроля вентиляторной установки.

На рис. 1 показана схема лабораторной установки на основе ультразвуковой системы доплеровского контроля. Рабочая частота ультразвуковых преобразователей составляет 40 кГц [5].

* Исследование выполнено при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

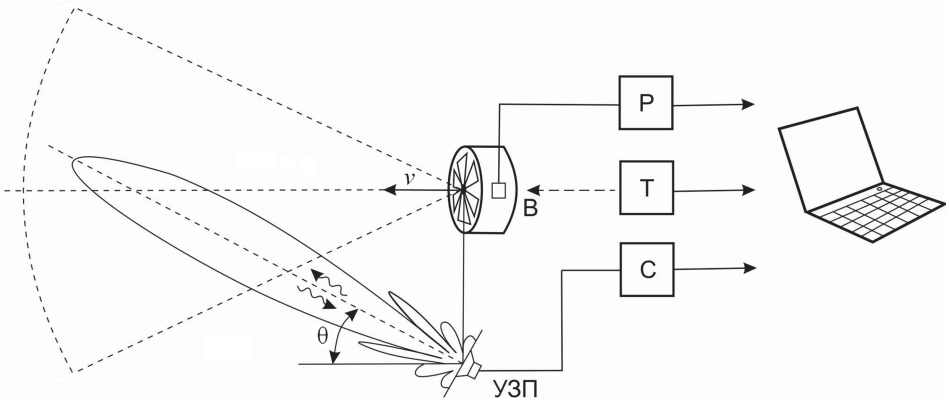


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Источником воздушного потока является промышленный вентилятор Dospel WK200 (В) с диаметром отверстия 0,2 м, который может быть уменьшен до 0,15 м благодаря редуктору, который надевается на вентилятор. Dospel WK200 представляет собой канальный центробежный вентилятор с мощностью 170 Вт, производительностью 1200 м³/ч и номинальной частотой вращения 2430 об./мин. Для измерения частоты вращения вентилятора используется цифровой фототахометр DT2234B (*T*), который позволяет бесконтактно измерить частоту вращения вентилятора с разрешением 0,1 об./мин (менее 1000 об.), 1,0 об./мин (более 1000 оборотов) и погрешностью ±(0,05% +1 цифра). Используя полученные данные от тахометра и системы дистанционного ультразвукового контроля производительности (*C*) строились зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения вентилятора. Для плавной регулировки частоты вращения вентилятора используется регулятор мощности (*P*) на основе симистора BTA26-600B, реализующий фазовый принцип управления и позволяющий подключать нагрузку до 1кВт. Принцип работы регулятора основан на изменении момента включения симистора относительно перехода сетевого напряжения через ноль.

Обратное рассеяние УЗ сигнала на неоднородном воздушном потоке имеет пространственно-распределенный характер. Рассеяние происходит в области пересечения потока и диаграммы излучения ультразвуковых преобразователей (см. рис. 1). Плотность потока и, соответственно, локальная скорость рассеивающих ультразвук неоднородностей меняются в пространстве как по направлению, так и по абсолютной величине. Поэтому ультразвуковой сигнал в приемном тракте прибора является суперпозицией сигналов с разной амплитудой, фазой и доплеровским частотным сдвигом.

На рис. 2 приведены экспериментальные спектральные плотности $G(f)$ сигнала при разных режимах работы вентилятора. Угол наклона ультразвуковых преобразователей относительно центральной оси потока $\theta = 50°$ (см. рис. 1). Время записи осциллограмм экспериментальных сигналов составляло не менее 0,8 с при частоте оцифровки 250 кГц. Используемые параметры оцифровки вполне позволяют выделить низкочастотную составляющую доплеровского сдвига частоты [5].

Экспериментальные спектры (рис. 2) имеют сложную форму с несколькими локальными максимумами. Это может быть связано с боковыми лепестками диаграммы направленности, неоднородностью потока, рассеянием на границах потока. Для интегральной оценки частоты доплеровского сдвига f рассчитывалась средневзвешенная частота доплеровского спектра сигнала:

$$f_{\text{ср}} = \frac{\int f\, G(f)\, df}{\int G(f)\, df}.$$

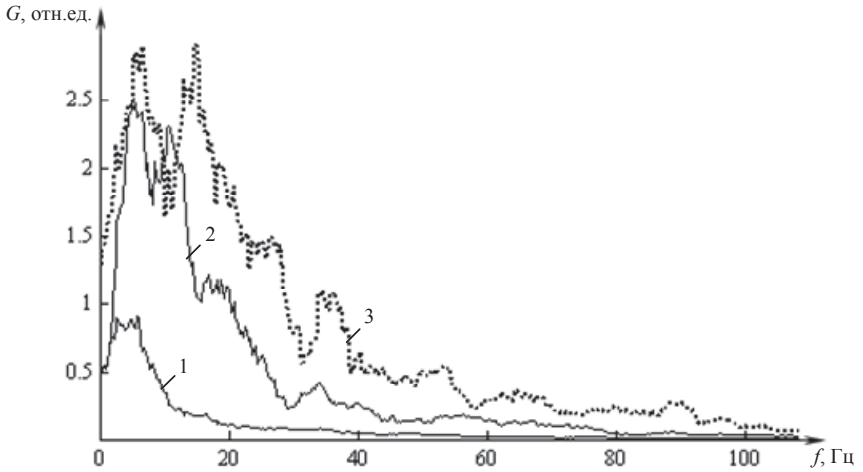


Рис. 2. Экспериментальные доплеровские спектры при различных параметрах вентилятора: 1 – n = 890 об./мин, d = 2 м; 2 – n = 2560 об./мин, d = 0,2 м; 3 – n = 2520 об./мин, d = 0,15 м

Как видно из рис. 2, частота $f_{ср}$ смещается в зависимости от частоты вращения вентилятора n (кривые 1 и 2) и диаметра выходного отверстия вентилятора d (кривые 2 и 3). Частота доплеровского сдвига $f_{ср}$ пропорциональна средней скорости потока воздуха [5]. При увеличении площади выходного отверстия S вентилятора скорость потока пропорционально уменьшается (см. кривые 2 и 3, рис. 2). Таким образом,

$$f_{ср} = Aq\frac{n}{S}, \qquad (1)$$

где A – коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров ультразвукового сигнала и положения преобразователей; q – производительность вентилятора. Для проверки соотношения (1) строилась зависимость доплеровского сдвига ультразвукового сигнала при изменении частоты вращения вентилятора. Экспериментальная зависимость $f_{ср}(n)$ показана на рис. 3. С учетом случайной погрешности (относительная погрешность уменьшается с увеличением скорости потока) зависимость $f_{ср}(n)$ близка к линейной, что соответствует известным формулам для расчета производительности вентиляторных установок [3].

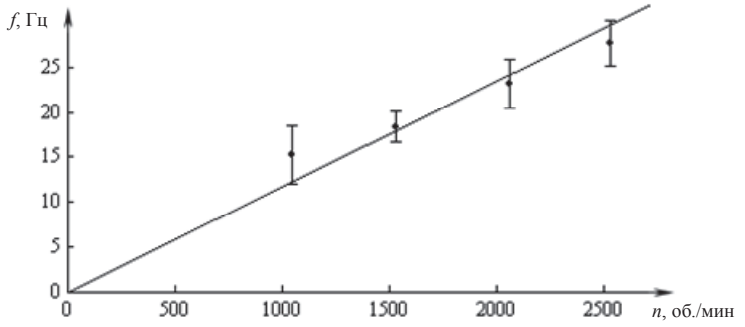


Рис. 3. Зависимость среднего доплеровского сдвига от частоты вращения вентилятора

Таким образом, предлагаемый метод доплеровских ультразвуковых измерений позволяет осуществлять дистанционный ультразвуковой контроль вентиляторных установок, начиная со скорости потока порядка десятков см/с. Для повышения чувствительности метода несущая частота ультразвукового излучения может быть повышена в несколько раз, что существенно уменьшит минимальную регистрируемую скорость потока.

Литература

1. *Горлин С.М., Слезингер И.И.* Аэромеханические измерения (Методы и приборы). М.: Наука, 1964. 720 с.

2. *Городецкий О.А., Гуральник И.И., Ларин В.В.* Метеорология, методы и технические средства наблюдений. 2-е изд. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 338 с.

3. *Черкасский В.М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 415с.

4. *Шепелев И.А.* Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978. 144 с.

5. *Ядарова О.Н., Славутский Л.А.* Доплеровский ультразвуковой контроль открытого воздушного потока // Вестник Чувашского университета. 2012. №3. С. 240-243.

АЛЕКСЕЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (al_sasha_91@mail.ru).

ALEKSEEV ALEXANDER PETROVICH – master's program student of Management and Informatics in Technical Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЯДАРОВА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА – аспирантка кафедры промышленной электроники, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (o_lala_la@mail.ru).

YADAROVA OLGA NIKOLAEVNA – post-graduated student of Power Electronics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 681.586.48
ББК 3873-5

П.А. ЛЕВИН, И.Ю. БЫЧКОВА, Л.А. СЛАВУТСКИЙ

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НАД НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Ключевые слова: *ультразвук, случайные флуктуации, температура, конвекция, корреляционный прием.*

Предлагается схема импульсного ультразвукового контроля стратификации воздуха над нагретой поверхностью. Приводятся результаты экспериментальных измерений и цифровой обработки ультразвуковых сигналов. Показано, что анализ интерференции и временных флуктуаций прямого и отраженного от поверхности сигналов позволяет оценить изменчивость скорости звука и, соответственно, температурный профиль приповерхностного слоя воздуха.

P.A. LEVIN, I.Yu. BYCHKOVA, L.A. SLAVUTSKIY

VARIABILITY OF ULTRASONIC PULSE SIGNALS OVER THE HEATING SURFACE

Key words: *ultrasonics, random fluctuations, temperature, convection, correlation processing.*

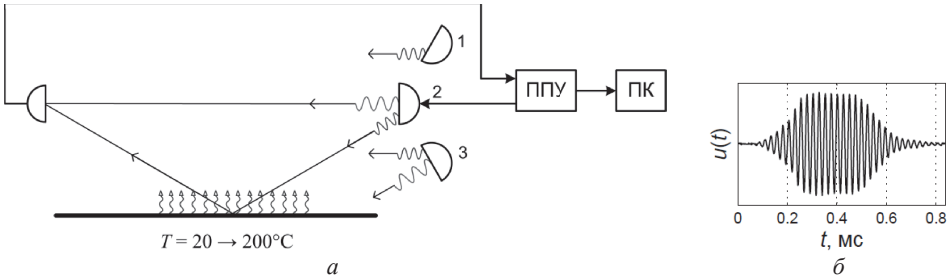
The ultrasonic pulse control scheme of the air stratification over the heating surface is offered. Results of experiments and the digital processing of ultrasonic signals are given. The analysis of the interference and fluctuation of direct and reflected signals allows to estimate sonic speed variability and therefore the temperature profile of the near-surface layer.

Для температурного контроля различных объектов могут использоваться как контактные, так и бесконтактные (дистанционные) методы (лазерные, инфракрасные, ультразвуковые). Активные лазерные методы [1], основанные на принципах спектроскопии и интерферометрии, обладают высокой точностью, но требуют сканирования лазерным лучом и оказываются достаточно дорогостоящими. Для температурных измерений наиболее широко распространена инфракрасная термография [2]. Однако увеличение пространственного и временного разрешения при дистанционном термографическом кон-

троле требует серьезной обработки изображений, и инфракрасные методы не всегда позволяют контролировать пограничные участки, например, температуру газа у нагретой металлической поверхности. Кроме того, большинство инфракрасных методов измерений являются пассивными и не рассчитаны на контроль случайных динамических процессов, таких, как конвекция газа у нагретой поверхности. Ультразвуковые методы относительно просты, дешевы и для контроля газовых сред в небольших объемах могут составлять серьезную конкуренцию лазерным и инфракрасным методам. Это связано с существенной зависимостью скорости звука от температуры и характерными пространственно-временными масштабами, которые определяются частотами в несколько десятков кГц и длиной волны излучения порядка нескольких миллиметров [3].

В настоящей работе показана возможность при помощи импульсного ультразвука контролировать конвективные потоки воздуха над нагретой поверхностью.

На рис. 1 приведены схема экспериментальных измерений (*а*) и усредненная форма ультразвуковых импульсов при прямом распространении (*б*). Ультразвуковые преобразователи с резонансными частотами 40 кГц располагаются на расстоянии $L = 60$ см и высоте $H = 20$ см над плоской электрической плитой.



а *б*

Рис. 1. Схема экспериментальных измерений (*а*) и усредненная форма ультразвуковых импульсов при прямом распространении (*б*).
ППУ – приемно-передающее устройство, ПК – персональный компьютер

Преобразователи имеют широкую диаграмму направленности (порядка 60°), поэтому для обеспечения разных условий распространения и отражения сигналов от поверхности плиты один из преобразователей поворачивался по вертикальной плоскости примерно на 30° вверх (1) и вниз (3) от горизонтального направления. В общем случае сигнал на входе приемника представляет собой суперпозицию прямого и отраженного от нагретой поверхности сигналов. Обработка сигналов проводилась по 100 импульсам при разном расположении преобразователей (1, 2, 3) при холодной (комнатная температура $T = 20$°C) и нагретой ($T \approx 200$°C) поверхности плиты. Оцифровка ультразвуковых сигналов обеспечивалась с частотой до 2 МГц, что позволяет анализировать их форму и статистическую изменчивость. На рис. 2 приведены гистограммы нормированной амплитуды ультразвуковых импульсов при трех положениях преобразователей над холодной (*а*) и нагретой (*б*) поверхностями. Как видно из рис. 2, статистические распределения амплитуды принимаемых сигналов существенно меняются в зависимости от расположения преобразователей и температуры плиты. Если при холодной плите разброс амплитуды вокруг среднего значения не превышает 10%, то при нагретой плите амплитуда импульсов может меняться в несколько раз.

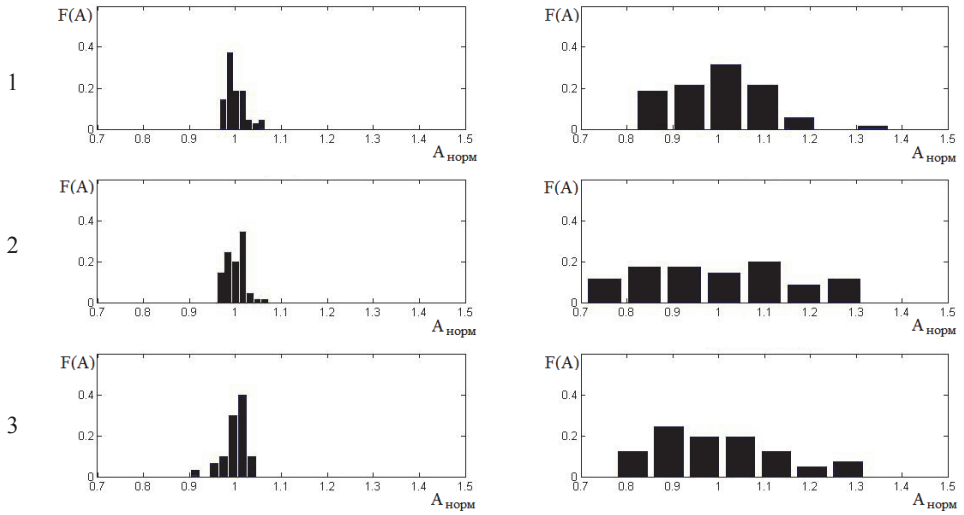
Это связано с флуктуациями скорости звука в конвективном потоке воздуха над плитой. При этом флуктуации сигнала увеличиваются, когда в приемнике происходит интерференция прямого и отраженного от плиты сигналов. Скорость звука вблизи поверхности при увеличении температуры воздуха до температуры $T > 100$°C увеличивается с 330 м/с примерно до 400 м/с [3]. Приближенно распределение амплитуды сигнала

может рассматриваться как распределение огибающей нестационарного случайного узкополосного сигнала [4]:

$$\omega(\rho)=\frac{\rho}{\sigma_0^2\sqrt{1-\beta^2}}\exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma_0^2(1-\beta^2)}\right]I_0\left(\frac{\beta\rho^2}{2\sigma_0^2(1-\beta^2)}\right),$$

где $\omega(\rho)$ – плотность вероятности распределения амплитуды случайной огибающей; σ_0 – дисперсия; β – параметр, определяющий статистическую связь амплитуды и фазы квазигармонического сигнала; $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя

$$I_0(x)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}e^{x\cos\varphi}d\varphi\,.$$



а *б*

Рис. 2. Гистограммы нормированной амплитуды ультразвуковых импульсов при трех положениях преобразователей над холодной (*а*) и нагретой (*б*) поверхностями

В предельных случаях это распределение переходит в распределение Рэлея ($\beta = 0$) или гауссовское распределение ($\beta = 1$).

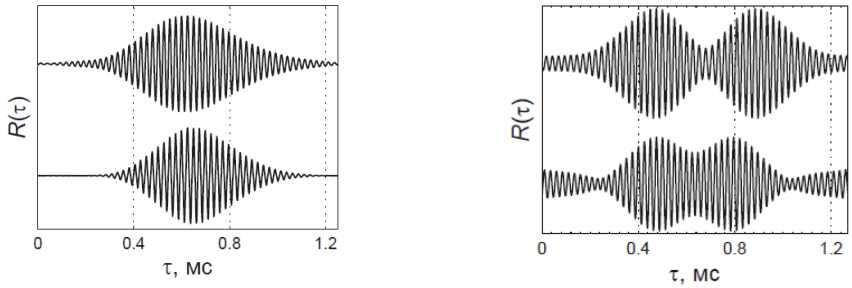
По параметрам этого распределения может быть оценена степень флуктуаций скорости звука, а значит, неоднородность конвективного потока воздуха. При увеличении температуры плиты скорость звука в приповерхностном слое возрастает и, соответственно, уменьшается задержка между прямым и отраженным ультразвуковым сигналами. Средняя величина этой задержки τ_0 может служить для количественной оценки температурного профиля воздуха над нагретой поверхностью. Для ее определения использовалась корреляционная обработка сигналов. Рассчитывалась корреляционная функция между излучаемым и принимаемым сигналами:

$$R(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}s_1(t)s_2(t-\tau)dt\,,$$

где $s_1(t)$ – излучаемый ультразвуковой сигнал; $s_2(t)$ – сигнал на входе приемника. Поскольку принимаемый сигнал представляет собой суперпозицию двух сигналов с задержкой, ширина корреляционной функции меняется в зависимости от температуры. На рис. 3, *а* показана форма корреляционной функции при комнатной температуре и при температуре плиты порядка 200°С.

Как видно из рис. 3, *а*, ширина корреляционной функции с увеличением температуры уменьшается. На рис. 3, *б* показаны результаты моделирования корреляцион-

ной функции для случая, когда импульсные ультразвуковые сигналы подвергаются фазовой модуляции с перебросом фазы по коду Баркера [5]. В этом случае временное разрешение измерений увеличивается в разы [6], и в корреляционной функции возникают два максимума, временная задержка между которыми пропорциональна τ_0. Использование фазомодулированного сигнала позволяет с достаточно высоким разрешением количественно оценить изменение скорости звука.



а *б*

Рис. 3. Форма корреляционной функции при комнатной температуре и при температуре плиты порядка 200°С для модулированного сигнала (*а*) и сигнала с фазовой модуляцией (*б*)

Таким образом, анализ интерференции и временных флуктуаций прямого и отраженного от поверхности сигналов позволяет оценить изменчивость скорости звука и, соответственно, температурный профиль приповерхностного слоя воздуха.

Литература

1. *Демтредер В.* Лазерная спектроскопия. М.: Наука, 1985. 607 с.

2. *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М.: Мир, 1988.

3. *Красильников В.А*. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. 400 с.

4. *Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С.* Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981. 640 с.

5. *Barker R.H.* Group synchronizing of binary digital sequences // Communication theory. L.: Butterworth, 1953. P. 373-287.

6. *Костюков А.С. Славутский Л.А.* Статистическая погрешность ультразвукового цифрового уровнемера с частотно-фазовой модуляцией сигнала // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 8. С. 35-37.

ЛЕВИН ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ – аспирант кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (konaz-levinson@mail.ru).

LEVIN PAVEL ALECSANDROVICH – post-graduate student of Management and Informatics in Technical Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

БЫЧКОВА ИРИНА ЮРЬЕВНА – аспирант кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет Россия, Чебоксары (iboomest@gmail.com).

BYCHKOVA IRINA YURYEVNA – post-graduate student of Management and Informatics in Technical Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СЛАВУТСКИЙ ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ – доктор физико-математических наук, профессор кафедры управления и информатики в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (las_co@mail.ru).

SLAVUTSKIY LEONID ANATOLYEVICH – doctor of physics and mathematical sciences, professor of Management and Informatics in Technical Systems Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 621.762.4.04
ББК 34.39

Е.П. ШАЛУНОВ, В.М. СМИРНОВ

О МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ CU-AL-C-O, ПОЛУЧАЕМЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Ключевые слова: *реакционное механическое легирование, аттритор, гранулы, дисперсное упрочнение, агрегатная структура, нанокристаллическая медь, оксиды алюминия, оксиды меди, графит, внутреннее окисление и восстановление.*

Приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению механизмов формирования структуры и свойств порошковой меди с добавками алюминия, углерода и окиси меди, подвергнутой обработке в аттриторе в присутствии кислорода воздуха. Обсуждаются механизмы образования упрочняющих частиц γ-Al_2O_3 *в зависимости от содержания оксидов меди и режима термообработки гранул. Показаны составы и условия получения композиционных материалов системы Cu-Al-C-O на основе метода реакционного механического легирования, обладающих высокой электропроводностью и температурой рекристаллизации.*

E.P. SHALUNOV, V.M. SMIRNOV

ABOUT THE MECHANISMS OF FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CU-AL-CO COMPOSITE, OBTAINED THROUGH THE REACTIONARY MECHANICAL ALLOYING METHOD

Key words: *reactionary mechanical alloying, attritor, granule, dispersion strengthening, aggregate structure, nanocrystalline copper, aluminum oxide, copper oxide, graphite, inner oxidation and reduction.*

Here are the experimental results for identifying of formation the structure and properties of copper powder with additives of aluminum, carbon and copper oxide, the treated in an attritor in the presence of oxygenHere are the results of research Discussed the results of the mechanisms of formation of reinforcing particles γ-Al2O3 based on the content of copper oxides and the heat treatment of granules. Recently compositions and conditions of composite materials of Cu-Al-CO on the basis of reactionary mechanical alloying with high electrical conductivity and recrystallization temperature.

Дальнейшее совершенствование электрических аппаратов и электротехнологических установок делает все более востребованными медные электроконтактные материалы, которые способны сохранять хорошую электро- и теплопроводность, высокие прочностные характеристики, износо- и дугостойкость и другие физико-механические и эксплуатационные свойства при высоких температурах. Использование механизма дисперсионного упрочнения [6] для получения таких материалов не подходит, так как прочностные характеристики дисперсионно-твердеющих медных сплавов сохраняются лишь до температур, равных 0,5-0,6 температуры плавления меди $T_{пл}$, а уже при $0,7T_{пл}$ они приближаются к прочностным характеристикам чистой меди. Например, лучшая электротехническая бронза БрХ1Цр системы Cu-Cr-Zr имеет температуру рекристаллизации, не превышающую 550°С.

В отличие от механизма дисперсионного упрочнения, при котором стабильность и, вообще, существование мелкодисперсной фазы-упрочнителя в дисперсионно-твердеющих медных сплавах зависит от температуры их нагрева (при высоких температурах она растворяется в медной матрице), механизм дисперсного упрочнения принципиально может обеспечить стабильность получаемых по нему дисперсно-упрочненных композиционных материалов (ДУКМ) при 0,80-0,90 температуры плавления их основы [2, 5]. Однако такая температурная стабильность ДУКМ может быть обеспечена при со-

блюдении ряда условий, среди которых одними из важнейших являются термодинамическая стабильность фазы-упрочнителя (оксидов, карбидов, боридов и др.), её нерастворимость в матрице и отсутствие взаимодействия с ней вплоть до её плавления, а также чрезвычайно высокая дисперсность (10-50 нм) частиц этой фазы-упрочнителя.

Наиболее простым способом реализации механизма дисперсного упрочнения при получении ДУКМ является элементарное механическое смешивание порошка матрицы и частиц (порошка) фазы-упрочнителя указанной выше дисперсности. Для этого предложены различные методы, среди которых наиболее эффективным следует считать метод механического легирования, осуществляемый в аппаратах тонкого измельчения (аттриторах, вибро- и планетарных мельницах и т.п.) [5]. Однако порошки фазы-упрочнителя нанодисперсного уровня (10-50 нм), требуемые для изготовления ДУКМ данным методом, имеют высокую цену, являются пирофорными и обладают склонностью к комкованию, что крайне ограничивает возможность использования этого метода в промышленных масштабах. В связи с этим данный метод получения медных ДУКМ в большинстве случаев не вышел за рамки лабораторий.

Наиболее совершенным методом реализации механизма дисперсного упрочнения при получении ДУКМ является реакционное механическое легирование [11], предусматривающее размалывание в высокоэнергетической мельнице, например, в аттриторе не просто готовой смеси порошков матрицы и фазы-упрочнителя, а порошков, которые обеспечивают получение этой фазы в результате размола и дальнейшего передела продукта размола по технологиям порошковой и гранульной металлургии. В частности, данный метод был использован авторами работы [11-13] для получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов Cu-Al_2O_3 путем размола в аттриторе смеси порошков меди и алюминия в присутствии кислорода воздушной среды, последующей термообработки полученных в аттриторе гранул в среде H_2/H_2O в пропорции 1/100 при температуре 700°С, холодного компактирования при давлении 800 МПа термообработанных гранул в брикеты и горячей экструзии при температуре 800-850°С предварительно нагретых брикетов в прутки. При этом нагрев брикетов перед экструзией производился в среде водорода.

Рекристаллизация и связанное с ней разупрочнение этих материалов наблюдаются лишь при температурах свыше 800°С [13], что объясняется созданием в них действительно достаточно оптимальной с позиций теории дисперсного упрочнения структуры, особенно тонкой, характеризующейся как наличием в ней субзерен нанодисперсного уровня и упрочняющих оксидов Al_2O_3 со средним размером 28-90 нм, так и высокой плотностью дефектов кристаллического строения. Благодаря вышеприведенным свойствам, эти материалы могут быть рекомендованы для изготовления из них изделий, связанных с эксплуатацией при высоких нагрузках в условиях повышенных температур, например для электродов контактной сварки. Однако данная технология не нашла применения в промышленном производстве. Необходимость использования для восстановления окисленной меди термообработки в водородной среде со строго определенным соотношением восстановителя (водорода) и окислителя (перегретого пара), необходимого для доокисления алюминия, в совокупности с процессом реакционного механического легирования делает получаемые материалы дорогостоящими, а их свойства – сложно контролируемыми.

В связи с этим большой интерес представляют технологии, использующие в качестве восстановителей окисленной меди недорогие и, в частности, твердые реагенты (графит, древесный уголь и другие углеродсодержащие материалы). В Чувашском государственном университете был разработан способ получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе порошковой меди [3, 4, 7], в основе которого лежит метод реакционного механического легирования в высокоэнергетических шаровых мельницах (например, в аттриторах) порошковой меди металлами III-VI групп периодической системы Д.И. Менделеева (в частности, алюминием, титаном, хромом, ванадием и др.), а также углеродом в присутствии кислорода воздуха.

Введение углерода позволило отказаться от применения дорогих технологических восстановительных процессов и разработать объемные наноструктурные материалы на основе порошковой меди электроконтактного назначения [4, 7]. Однако в этих материалах не всегда удается получать оптимальное сочетание механических свойств и электропроводности (теплопроводности), что особенно важно для электроконтактных материалов. В частности, увеличение добавок порошка алюминия в медных композиционных материалах с дисперсными частицами оксида алюминия способствует увеличению механических свойств и износостойкости конечного материала, но при этом уменьшается электропроводность за счет сохранения атомов алюминия в медной матрице в виде твердого раствора [8].

В работе авторов [9] предложен метод увеличения электропроводности композиционных материалов системы Cu-Al-C-O, получаемых на основе реакционного механического легирования, за счет обеспечения полного окисления содержащегося в них алюминия, что может быть достигнуто путем введения в состав шихты окиси меди и использования термообработки гранул в полугерметичной камере с карбюризатором. Хотя такие композиционные материалы уже начинают применяться в качестве электроконтактных материалов, например электродов для контактной сварки, отсутствие знаний о механизмах формирования их структуры и свойств сдерживает возможность дальнейшей оптимизации этих материалов. Поэтому авторами настоящей работе была поставлена цель исследования структуры и свойств этих композиционных материалов и выявления механизмов их формирования.

Материалы и основные методы их исследований. Исходный состав порошковых композиций и условное обозначение изготавливаемых из них для исследований материалов представлены в табл. 1. Содержание окиси меди CuO, добавляемой в порошковые композиции, рассчитывали исходя из того, что для полного окисления 1 г алюминия необходимо 4,4 г окиси меди.

Исследуемые порошковые композиции с добавками окиси меди обрабатывали в аттриторе с емкостью рабочей камеры 15 л в среде содержащегося в ней воздуха в течение 60 мин со скоростью вращения ротора аттритора 600 об./мин. В целях уменьшения износа рабочих тел аттритора и, соответственно, снижения содержания включений железа в конечном материале обработка порошковых композиций проводилась в режимах, менее энергонапряженных по сравнению с режимами, когда обработке в аттриторе подвергаются аналогичные порошковые композиции, но без добавок окиси меди [8]. Уменьшение интенсивности воздействия на порошковую композицию со стороны мелющих стальных шаров достигали за счет изменения геометрии бил и увеличения отношения массы порошковой композиции к массе мелющих шаров с 1:20 до 1:15 и 1:6.

Технологический передел полученных в аттриторе гранул в полуфабрикат в виде прутка включал следующие операции: 1) термообработка гранул (для материалов с добавлением окиси меди) в закрытой полугерметичной камере при температуре 850-870°С в течение 2-4 ч в присутствии карбюризатора (Na_2CO_3 – 25% масс., $CaCO_3$ – 5% масс., остальное – древесный уголь), являющегося генератором смеси газов ($CO+CO_2$); 2) двустороннее холодное компактирование гранул в брикеты при удельном давлении 600 МПа; 3) нагрев завернутых в медную фольгу (или помещенных в капсулу с карбюризатором) брикетов до температуры 700°С, выдержка при этой температуре 15-20 мин для их прогрева и последующая горячая экструзия в прутки.

Таблица 1

Исходный химический состав исследуемых материалов на основе меди

Условное обозначение материала	Легирующие добавки, % масс.			Cu
	Al	C (графит)	CuO	
МАГ50-25	0,50	0,25	-	ост.
МАГ100-30	1,00	0,30		
МАГ25-15К	0,25	0,15	1,32	ост.
МАГ40-20К	0,40	0,20	2,12	ост.
МАГ50-25К	0,50	0,25	2,64	ост.
МАГ80-15К	0,80	0,15	3,50	ост.

Исследования структуры материалов проводили на сканирующем зондовом микроскопе NEXT компании

НТ МТД методом атомно-силовой микроскопии на шлифах после электрополировки в электролите следующего состава: ортофосфорная кислота – 1150 г/л; н-бутиловый спирт – 95 мл/л; вода – остальное.

Рентгеноструктурный анализ, включающий измерение периода решетки, фазовый анализ дисперсоидов, проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М по стандартным методикам. Период решетки определяли с точностью ±0,00002 нм по центру тяжести K_α линии (420) на медном излучении ($\lambda K_{\alpha ср.}$ = 0,154178 нм). Выделение дисперсоидов для рентгенофазового анализа осуществляли путем анодного растворения матрицы в водном электролите, содержащем 3% масс. $CuSO_4$, 3% масс. H_3PO_4, 3% масс. цитрата аммония.

Результаты исследований и их обсуждение. Как было отмечено выше, дисперсно-упрочненный композиционный материал на основе меди будет обладать оптимальным сочетанием электропроводности, жаропрочности и износостойкости, если матрицей материала является чистая медь, а дисперсные частицы с размерами 10-50 нм будут равномерно распределены внутри ее зерен.

В исследуемых композиционных материалах системы Cu-Al-C-O основным легирующим элементом, снижающим электропроводность, является алюминий, который при реакционном механическом легировании порошковой меди в аттриторе и дальнейшем термодеформационном переделе полученных гранул в прутки может полностью не окислиться из-за недостатка кислорода и образовать твердый раствор Cu(Al). Действительно, как видно из табл. 2, дополнительное введение окислителя в виде окиси меди в исходную шихту и отжиг полученных гранул обеспечивают более высокую электропроводность прутков из материалов МАГ40-20К и МАГ80-15К по сравнению с электропроводностью прутков из материалов МАГ50-25 и МАГ100-30, получаемых без добавления окиси меди и дополнительной термообработки. При этом материалы с повышенной электропроводностью имеют меньшую прочность и твердость, но близки по этим характеристикам к известному дисперсно-упрочненному материалу GlidCop® AL-60 [10].

Таблица 2

Основные физико-механические свойства исследуемых материалов системы Cu-Al-C-O

Характеристика материала	GlidCop® AL-60	Исследуемые материалы					
		МАГ 50-25	МАГ 100-30	МАГ 25-15К	МАГ 40-20К	МАГ 50-25К	МАГ 80-15К
Абсолютная плотность, г/см^3	8,81	8,62	8,60	8,69	8,56	8,57	8,59
Теплопроводность, Вт/м×°К	320	185	117	339	325	315	308
Электропроводность, % от электропроводности меди	75	50	30	92	87	85	81
Твердость по Бринеллю, НВ 5/750/30	155	181	196	128	140	140	160
Предел прочности при растяжении, МПа	500	717	780	400	420	415	510
Относительное удлинение, %	15,0	8,7	5,3	21	15	15	12
Температура рекристаллизации, °С	860	930	960	830	840	840	870

Измерения параметра решетки подтвердили, что добавка окиси меди в исходную порошковую композицию материалов системы Cu-Al-C-O в совокупности с проведенной термообработкой полученных в аттриторе гранул обеспечивает полное окисление алюминия и удаление его из решетки меди. Как видно из табл. 3, параметр решетки медной матрицы исследуемых материалов МАГ40-20К и МАГ80-15К соответствует параметру решетки чистой меди (0,36150 нм).

При этом параметр решетки материалов МАГ50-25 и МАГ100-30, полученных без добавления окиси меди и дополнительной термообработки, составляет 0,36180 нм и 0,36200 нм, соответственно, что значительно превышает параметр решетки чистой меди. Концентрация алюминия в твердом растворе Cu(Al) материалов МАГ50-25 и МАГ100-

Таблица 3

Параметр решетки меди в исследуемых материалах

Материал	Содержание алюминия в порошковой композиции, % масс.	Параметр решетки меди, нм	
		в гранулах	в прутке
МАГ50-25	0,5	0,36152	0,36180
МАГ100-30	1,0	0,36161	0,36200
МАГ40-20К	0,4	0,36151	0,36150
МАГ80-15К	0,8	0,36154	0,36151

30М70, рассчитанная по правилу Вегарда, составляет 0,3% масс. и 0,5% масс., соответственно.

Как показывает рентгенофазовый анализ анодных осадков исследуемых материалов МАГ40-20К и МАГ80-15К в виде прутков, основной упрочняющей фазой в них, так же как и в материалах МАГ50-25 и МАГ100-30 [8], является оксид алюминия γ–Al_2O_3 (табл. 4).

Таблица 4

Фазовый состав анодного осадка (дисперсных частиц) материала МАГ40-20К

№ линий	Интенсивность *I**	Угол дифракции 2θ, град.	Межплоскостное расстояние *d*, нм	Фаза	Теоретические значения	
					d, нм	*I*
1	очень слабая	31,0	0,335	С-графит	0,338	100
2	очень слабая	41,6	0,252	CuO	0,251	100
3	слабая	42,7	0,246	Cu_2O	0,245	100
4	слабая	44,0	0,239	γ-Al_2O_3	0,239	19
5	очень слабая	46,6	0,229	γ-Al_2O_3 CuO	0,228 0,231	13 100
6	средняя	53,7	0,199	γ-Al_2O_3	0,198	72
7	счень слабая	72,0	0,152	Cu_2O	0,151	44
8	сильная	79,5	0,140	γ-Al_2O_3	0,140	100

Образование оксида алюминия начинается при обработке порошковой композиции в аттриторе, где за счет механической активации создаются условия для взаимодействия алюминия с кислородом воздуха и кислородом, находящимся в оксидах меди. При размоле смеси порошков меди, алюминия, графита и окиси меди в среде воздуха камеры аттритора возможны следующие окислительно-восстановительные реакции:

$2Cu+O_2 = 2Cu_2O$, (1)

$4Al+3O_2 = 2Al_2O_3$, (2)

$2Al+3Cu_2O=Al_2O_3+6Cu$, (3)

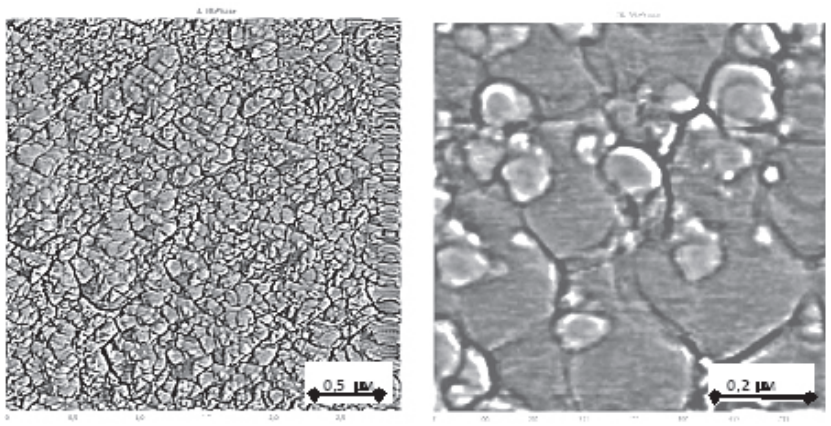
$2Al+3CuO=Al_2O_3+3Cu$, (4)

$2CuO+C=2Cu+CO_2$; (5)

$2Cu_2O+C=4Cu+CO_2$. (6)

В аттриторе в результате механического воздействия стальных шаров на частицы порошковой композиции, кроме окислительно-восстановительных реакций (1)-(6), происходят пластическая деформация и сваривание друг с другом отдельных частиц композиции. При этом между частицами порошка меди попадают частицы порошков алюминия, окиси алюминия, окиси меди и графита. С течением времени размер медных гранул увеличивается, а они сами сильно упрочняются в результате интенсивной пластической деформации (ИПД) [1]. По достижении гранулами предельной прочности начинается процесс дробления (разрушения) гранул. В результате многократного сваривания и дробления формируются гранулы с мелкозернистой агрегатной структурой, где по границам зерен располагаются частицы алюминия, окиси алюминия, окиси меди и графита.

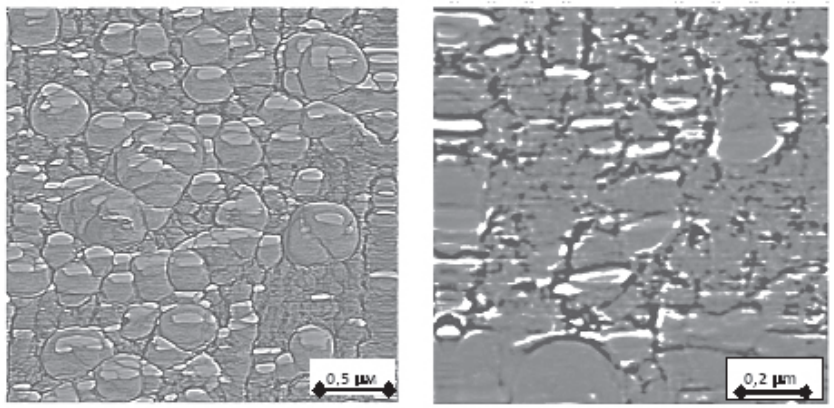
Как показывают исследования тонкой структуры на поперечных шлифах, вырезанных из прутка, на сканирующем зондовом микроскопе Next атомно-силовым методом (АСМ), размер зерен исследуемых материалов в большой степени зависит от энергетических режимов обработки смеси исходных порошков в аттриторе. При интенсивном, высокоэнергетическом режиме обработки исходной композиции порошков меди, алюминия и графита в аттриторе, последующем холодном прессовании полученных гранул в брикеты и горячей экструзии этих брикетов в прутки в материалах МАГ50-25 и МАГ100-30 образуется однородная мелкозернистая структура. Размер зерен составляет 100-200 нм (рис. 1, *а* и *б*).



а *б*

Рис. 1. Тонкая структура материала МАГ50-25
(метод АСМ в режиме «фаза», разные увеличения)

В исследуемых материалах МАГ40-20К и МАГ80-15К, получаемых в низкоэнергетическом режиме обработки в аттриторе порошковой меди с добавками алюминия, графита и окиси меди и последующей термообработкой гранул, затем холодным прессованием и горячей экструзией, наблюдается менее однородная структура (рис. 2, *а* и *б*). Имеются области с крупными зернами, достигающими до 500 нм, наряду с областями мелкозернистой структурой с размерами 100-200 нм.



а *б*

Рис. 2. Тонкая структура материала МАГ80-15К
(метод АСМ в режиме «фаза», разные увеличения)

Сохранение мелкозернистой структуры в исследуемых материалах в виде прутков, несмотря на высокую температуру нагрева гранул при термообработке перед экструзией, можно объяснить только наличием устойчивых дисперсных включений оксида алюминия, образование которых начинается уже на стадии обработки порошковой композиции на основе меди в аттриторе. При этом необходимо учесть, что часть механической энергии при размоле порошковой композиции превращается в тепло. Локальная температура при столкновении шаров может достигать более 1000°С.

В таких условиях активизируются окислительно-восстановительные реакции (1)-(6), а также создаются условия для диффузии атомов алюминия и кислорода вовнутрь зерна меди, где в результате внутреннего окисления алюминия возможно образование дис-

персных частиц оксида алюминия. Результаты измерения периода решетки гранул до термообработки (см. табл. 3) подтверждают возможность растворения атомов алюминия в медной матрице при обработке порошковой композиции в аттриторе. Действительно, заметное увеличение периода решетки меди наблюдается как в гранулах МАГ100-30, так и гранулах МАГ80-15К, что возможно при образовании твердого раствора Cu(Al).

Дальнейшее окисление алюминия и образование окиси алюминия происходят при термообработке гранул, имеющих агрегатную структуру. Внутри гранул по границам ультрамелких зерен кроме оксидов алюминия, оксидов меди и графита располагаются также включения алюминия. При нагреве исследуемых гранул выше 650°С и выдержке при этих температурах создаются условия для диффузии атомов алюминия и кислорода в медной матрице. Хотя коэффициент диффузии алюминия D_{Al} значительно меньше коэффициента диффузии атомов кислорода в меди D_O, скорость проникновения атомов алюминия в медную матрицу $P_{Al} = D_{Al} \cdot C_{Al}$ и образования твердого раствора замещения Cu(Al) может быть выше скорости проникновения атомов кислорода в медную матрицу $P_O = D_O \cdot C_O$.

Условие $P_{Al} > P_O$ может наблюдаться при температурах нагрева 650-750°С, когда растворимость атомов кислорода C_O на несколько порядков ниже растворимости атомов алюминия в меди C_{Cu}. При таких условиях атомы алюминия могут быстрее, чем атомы кислорода, проникать в медную матрицу, и поэтому окисление алюминия будет происходить вблизи поверхности оксидов меди, что может привести к образованию плотной оксидной пленки на поверхности частиц оксида меди. На возможность такого механизма твердофазного окисления алюминия и образования дисперсных частиц указывают, например, результаты стереологического анализа дисперсных частиц на репликах от шлифов композиционных материалов системы Cu-Al-O [8]. По такому же механизму, по-видимому, образуются и дисперсные частицы в исследуемых композиционных материалах МАГ50-25 и МАГ100-30, которые не подвергались дополнительной термообработке при температурах выше 850°С и не содержат дополнительный окислитель – окись меди. Как видно из рис. 1, *б*, дисперсные частицы в материале МАГ50-25 располагаются в основном по границам зерен.

Основным условием внутреннего окисления легирующего элемента является то, что он должен находиться в матрице в виде твердого раствора. Но как показывает моделирование, внутреннее окисление в сплавах с образованием дисперсных частиц окиси легирующего элемента возможно не только при образовании легирующим элементом твердого раствора, но и при условии, если легирующий элемент одновременно в сплаве находится в виде твердого раствора и в виде второй фазы.

Вторым условием внутреннего окисления является условие $P_{Al} < P_O$, при котором фронт атомов кислорода проникает вовнутрь зерна твердого раствора алюминия в меди. На границе этого фронта образуются дисперсные частицы оксида алюминия в матрице. Поставщиком кислорода для внутреннего окисления алюминия в исследуемых материалах МАГ40-20К и МАГ80-15К являются частицы оксидов меди, которые вводятся дополнительно в шихту и также могут образоваться при обработке порошковой композиции в аттриторе. Например, содержание кислорода в гранулах материала МАГ80-15К составляет 0,65% масс. (табл. 5).

Таблица 5

Содержание газов в исследуемом материале МАГ80-15К

Состояние материала	Содержание газа, % масс.	
	кислород	водород
Порошок ПМС-1	0,13	0,00200
Гранулы до отжига	0,65	0,00250
Гранулы после отжига	0,50	0,00004
Пруток	0,55	0,00035

Оксиды меди в гранулах в основном располагаются по границам зерен. При нагреве гранул исследуемых материалов МАГ40-20К и МАГ80-15К в восстановительной среде смеси газов ($CO+CO_2$) до 850°С кислород, находящийся в оксидах меди, начинает диффундировать в медную матрицу, создавая фронт атомов кислорода, и при встрече с атомами алюминия образует

дисперсные частицы окиси алюминия, а при встрече с включениями графита – окись углерода. Как видно из табл. 5, после термообработки в восстановительной среде смеси газов ($CO+CO_2$) общее содержание кислорода в гранулах материала МАГ80-15К уменьшается до 0,50% масс. При термообработке также происходит взаимодействие кислорода с остаточным водородом, что подтверждается снижением концентрации водорода до 0,00004% масс. в гранулах материала МАГ80-15К (см. табл. 5).

Как видно из рис. 2, *б*, выделения в материале МАГ80-15К располагаются как по границам зерен, образуя цепочки или сплошные линии, так и внутри зерен. Образование отдельных дисперсных частиц, расположенных внутри зерен, подтверждает тезис о возможности выделения их по механизму внутреннего окисления [2] при термообработке гранул. Но из-за наличия большой удельной поверхности границ зерен в единице объема материала, по-видимому, диффузия атомов кислорода и алюминия при внутреннем окислении в значительной степени происходит по границам зерен, что приводит к образованию выделений оксида алюминия по границам зерен в виде цепочек частиц или сплошных линий.

Следует также отметить, что в материалах МАГ40-20К и МАГ80-15К, как показывают рентгенофазовый анализ (см. табл. 4) и исследования тонкой структуры (см. рис. 2, *а* и *б*), сохраняются включения оксидов меди, преимущественно CuO, расположенных по границам зерен меди, размеры которых составляют 100 нм и более. Так как при этом исследуемые материалы имеют очень низкую концентрацию водорода (см. табл. 5), при работе в условиях высоких температур не наблюдается эффекта «вздутия» («водородной болезни») этих материалов.

Выводы. Формирование структуры и свойств исследуемых композиционных материалов системы Cu-Al-C-O происходит в два этапа. На первом этапе – при обработке исходной порошковой смеси меди, алюминия, графита и оксида меди в аттриторе в среде кислорода воздуха – формируются гранулы с сильно измельченной структурой зерна, по границам которой располагаются отдельные включения оксидов меди, оксида алюминия, чистого алюминия и графита. Формируется так называемая агрегатная структура, которая является неустойчивой, так как содержит алюминий и оксид меди.

Дальнейшее формирование структуры продолжается при термообработке гранул и их горячей экструзии в результате твердофазного взаимодействия алюминия и оксида меди. Механизм этого взаимодействия зависит от скорости проникновения (диффузии) атомов алюминия и кислорода в медную матрицу, следовательно, от температуры отжига гранул, а также от концентрации алюминия и оксида меди в исходном составе материалов.

Литература

1. *Валиев Р.З., Александров И.В.* Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: Академкнига, 2007. 398 с.

2. *Кипарисов С.С., Левинский Ю.В.* Внутреннее окисление и азотирование сплавов. М.: Металлургия, 1979. 200 с.

3. Пат. 2117063 Российская Федерация, МПК^6 C22C1/04, C22C1/10. Способ изготовления жаропрочных и жаростойких дисперсно – упрочненных изделий на основе меди / Е.П. Шалунов, А.А. Козицин, А.Л. Матросов и др.; заявители и патентообладатели ОАО «Уралэлектромедь» и ООО НТФ «Техма». №97106864/02; заявл. 24.04.97; опубл. 10.08.1998, Бюл. № 22. 12 с.

4. Пат. 2195511 Российская Федерация, МПК^6 C22C1/10, B22F9/04. Дисперсно-упрочненый композиционный материал для электроконтактных деталей / Шалунов Е.П., Матросов А.Л., Липатов Я.М., Берент В.Я.; заявитель ООО НТФ «Техма»; патентообладатель Шалунов Е.П. №2001103228/02; заявл. 05.02.01; опубл. 27.12.2002, Бюл. № 36. 8 с.

5. *Портной К.И., Бабич Б.Н.* Дисперсно-упрочненные материалы. М.: Металлургия, 1974. 199 с.

6. *Раховский В.И., Левченко Г.В., Теодорович О.К.* Разрывные контакты электрических аппаратов. Л.: Энергия, 1966. 296 с.

7. *Шалунов Е.П.* Жаро- и износостойкие медные гранулированные композиционные материалы с механохимически синтезированными упрочняющими наночастицами и высокоресурсная продукция из них // Нанотехника. 2007. № 1(9). С. 69-78.

8. *Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Матросов А.Л.* Реакционное механическое легирование порошковой меди кислородом и углеродом // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 252-259.

9. *Шалунов, Е.П., Смирнов В.М.* Особенности формирования объемных наноструктурных материалов на основе меди методом реакционного механического легирования // Вестник Чувашского университета. 2009. № 2. С. 291-299.

10. GlidCop®-Aluminiumoxidverstärktes Kupfer // Information von SCM Metal Products, Inc., 1994. 12 S.

11. *Jangg G., Kutner F., Korb G.* Herstellung und Eigenschaften von dispersionsgehärteten Aluminium//Aluminium.1975. № 51, Heft 10. S. 641-645.

12. *Oppenheim H.* Herstellung, Eigenschaften und Verwendungsmoglichkeiten von dispersionsgehärtetem Kupfer // Z. für Metallkunde. 1983. № 74. S. 319-322.

13. *Slesar M., Jangg G., Besterci M.* Festigkeit und Bruch dispersionsgehärteter Cu-Al_2O_3-Werkstoffe // Z. für Metallkunde. 1981. № 72, Heft 6. S.423-427.

ШАЛУНОВ ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ – кандидат технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, научный руководитель Объединенной научно-исследовательской лаборатории качества, обрабатываемости и композиционных материалов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (shalunov2000@mail.ru).

SHALUNOV EVGENIY PETROVITCH – candidate of technical sciences, professor of of Mechanical Engineering Technology Chair, scientific leader of the Joint research and development laboratories of mechanically alloyed nano-composite materials, their technology andquality, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СМИРНОВ ВАЛЕНТИН МИХАЙЛОВИЧ – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии роботизированного производства, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vms53@inbox.ru).

SMIRNOV VALENTIN MICHAYLOVICH – candidate of physical and mathematical sciences, head of Robotized Manufacture Technology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.6 + 616-07
ББК 53/57. Клиническая медицина

О.И. АВТОНОМОВА, Л.М. КАРЗАКОВА, Е.И. ГЕРАНЮШКИНА,
Н.А. КОМЕЛЯГИНА, С.И. КУДРЯШОВ

ОСОБЕННОСТИ ИММУНО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ГЛОМЕРУЛОНЕФРИТА

Ключевые слова: *острый гломерулонефрит, хронический гломерулонефрит, показатели иммунного ответа, гемограмма.*

Приведены результаты иммунологического тестирования 58 больных гломерулонефритом (ГН) острого и хронического течения. Установлены особенности врожденного и приобретенного иммунного ответа у больных ГН в зависимости от характера клинического течения заболевания – острого и хронического. Предложены лабораторные критерии дифференциации острого и хронического течения ГН.

**O.I. AVTONOMOVA, L.M. KARZAKOVA, E.I. GERANYUSHKINA,
N.A. KOMELYAGINA, S.I. KUDRYASHOV**

THE FEATURES OF THE IMMUNE-HEMATOLOGIC MANIFESTATIONS OF ACUTE AND CHRONIC COURSE OF GLOMERULONEPHRITIS

Key words: *acute glomerulonephritis, chronic glomerulonephritis, parameters of the immune response, blood count.*

There are the results of immunological testing 58 patients with glomerulonephritis (GN) of acute and chronic course. There are given the features of the innate and adaptive immune responses in patients with GN, depending on the nature of the clinical course of the disease – acute and chronic. The laboratory criteria of differentiation of acute and chronic course of GN are proposed.

Основной формой повреждения почек, обусловливающих прогрессирующее изменение функции почек, является гломерулярное поражение – гломерулонефрит (ГН). По мере прогрессирования ГН и гибели клубочков связанные с ними канальцы атрофируются, формируется интерстициальный фиброз – картина, характерная для всех хронических прогрессирующих заболеваний почек. В Российской Федерации ГН продолжает оставаться основной причиной терминальной хронической почечной недостаточности, требующей перевода больных на заместительную терапию [1]. В основе гломерулярного поражения при ГН лежит иммуновоспалительный процесс [8, 10]. Различие в механизмах иммунопатологического повреждения клубочков обусловливает существование многообразия морфологических вариантов ГН, которые можно свести к трем основным формам – мембранозной, мезангиопролиферативной и интра- и/или экстракапиллярной [7, 11]. По характеру клинического течения выделяют острую форму ГН (давность заболевания менее года) и хроническую (давность заболевания более года). В клинической практике часто возникают трудности в своевременной дифференциации обострения хронического ГН и острого ГН, в частности при мочевой (латентной) форме заболевания, из-за отсутствия четких критериев их диагностики. Это диктует необходимость проведения комплекса лабораторных исследований, в том числе современных иммунологических тестов, с целью разработки лабораторных критериев установления характера клинического течения ГН.

Материалы и методы исследования. В настоящее исследование включено 58 больных ГН в возрасте от 16 до 54 лет (в среднем 36,0±12,7 года), проходивших стационарное лечение в нефрологическом отделении БУ «Республиканская клиническая больница» Минздравсоцразвития Чувашии. Среди

обследованных – 24 женщины и 34 мужчины. Длительность заболевания – от дебюта ГН до 29 лет (в среднем 9,6 ± 8,7 года). В дебюте заболевания исследовано 9 больных (острый ГН), в обострении хронического ГН – 49 пациентов. У 8 больных был установлен нефротический вариант ГН, у 8 – гипертонический, у 12 – смешанный и у 30 – латентный. У 34 больных выполнялась диагностическая нефробиопсия, при этом в 21 случае установлен мезангиопролиферативный вариант ГН, в 6 – мембранопролиферативный, в 4 – мембранозный, в 3 – ГН с минимальными изменениями.

Помимо общепринятых исследований (общеклинические исследования крови и мочи, биохимические исследования – креатинин, мочевина, билирубин, трансаминазы, гемостазиограмма, белковые фракции, С-реактивный белок, скорость клубочковой фильтрации – СКФ в пробе Реберга–Тареева, канальцевая реарбсорбция, ультразвуковое исследование почек) больным проводили тестирование показателей врожденного и приобретенного иммунного ответа: определение концентрации циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) методом осаждения полиэтиленгликолем ПЭГ-6000 [2], а также сывороточных иммуноглобулинов IgM, IgG, IgA – методом радиальной иммунодиффузии в геле по G. Manchini с соавт. [9] с использованием моноспецифических сывороток и стандартов ФГУП «НПО МИКРОГЕН» МЗ РФ, иммунофенотипирование лимфоцитов методом непрямой иммунофлюоресценции с использованием моноклональных антител CD3, CD4, CD8, CD20, CD25, CD95 («Сорбент», Москва), исследование фагоцитарной активности в латекс-тесте (с использованием стандартных частиц латекса диаметром 1,35 мкм – «Иммуноскрин», Москва). Объектом исследования служила венозная кровь. Исследования проводили до начала лечения (на 3-и сутки от момента поступления больных в стационар) и к концу стационарного лечения – на 14-е сутки лечения.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием компьютерной программы STATISTICA for Windows 6,0. Данные представляли в виде $M \pm SD$, где M – средняя арифметическая; SD – среднеквадратичное отклонение. При сравнении двух выборок для оценки достоверности различий применяли t-критерий Стьюдента (p), для сопряженных групп – парный тест Стьюдента. Полученные в ходе исследования значения лабораторных показателей сравнивали с показателями региональной нормы [5].

Достоверность связи между двумя рядами наблюдений оценивали на основании вычисления коэффициента корреляции рангов Спирмена (r_s), достоверность коэффициентов считалась приемлемой при $p_{rs} < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В гемограмме больных ГН выявлен ряд отличий от показателей региональной нормы (табл. 1). В частности, у больных обнаружены снижение показателей красного ростка крови, повышение содержания лейкоцитов (за счет нейтрофилов) и уровня СОЭ. Значительные отличия установлены при анализе популяционного состава лейкоцитарных клеток. Так, при ГН наблюдалось увеличение палочкоядерных нейтрофилов и моноцитов. Были увеличены абсолютные значения содержания сегментоядерных нейтрофилов и эозинофилов при неизмененных их процентных значениях. Большинство выявленных изменений гемограммы сохранялось на всем протяжении стационарного периода лечения. Исключение составили показатели гемоглобина, лейкоцитов и сегментоядерных нейтрофилов, сравнявшихся к концу стационарного лечения с соответствующими значениями здоровых.

Клеточный механизм адаптивного иммунитета у больных отличался уменьшением общего числа Т-лимфоцитов ($CD3^+$), снижением содержания как хелперной ($CD4^+$), так и цитотоксической ($CD8^+$) субпопуляций (табл. 2). Анализ суб-

популяционного состава мононуклеарных клеток, экспрессирующих активационные маркеры, выявил уменьшение содержания $CD25^+$- и $CD95^+$-клеток. Что касается гуморального иммунного ответа, то для него было характерно повышение уровней IgM и IgA. Естественная резистентность организма больных была ослаблена за счет снижения фагоцитарного индекса.

Таблица 1

Показатели гемограммы у больных ГН

Показатели		Региональная норма (здоровые) (n = 40)	Гломерулонефрит		p <
			на 3-й день (n = 58)	на 14-й день (n = 56)	
		M±SD	*M±SD*	*M±SD*	
Эритроциты	$\times10^9$/л	4600±300	4160±436***	4243±433***	NS
Гемоглобин	г/л	139±12,0	130,2±16,1**	135,0±17,2	NS
Лейкоциты	$\times10^6$/л	5585±1294	6415±1836*	5717±1328	0,05
Нейтрофилы	%	58,5±7,1	59,4±10,0	61,1±11,2	NS
	$\times10^6$/л	3236±967	3898±1565**	3535±1168*	NS
Палочкоядерные нейтрофилы	%	2,0±0,4	6,0±7,0***	5,2±3,1***	NS
	$\times10^6$/л	105,4±44	384±291***	278±292***	NS
Сегментоядерные нейтрофилы	%	56,0±8,2	53,1±11,2	57,3±10,0	NS
	$\times10^6$/л	2951±901	33842±997*	3236±1023	0,05
Лимфоциты	%	36,2±7,1	33,7±8,8	34,1±8,1	NS
	$\times10^6$/л	2011±570	2093±637	2049±637	NS
Моноциты	%	4,2±0,8	8,4±3,1***	6,0±4,1**	0,001
	$\times10^6$/л	221±88	515±218***	358±245***	0,001
Эозинофилы	%	2,7±1,6	3,3±2,1	3,2±2,0	NS
	$\times10^6$/л	143±17	185±26***	171±35***	NS
СОЭ	мм/ч	5,2±0,5	14,4±3,2***	14,4±3,9***	NS

Примечание. В табл. 1 и 2 P < – достоверность различий между значениями показателей больных в динамике лечения по парному тесту Стьюдента; * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – достоверность различия показателей больных ГН относительно группы здоровых по t-критерию Стьюдента.

Таблица 2

Показатели врожденного и приобретенного иммунного ответа у больных ГН

Показатели		Региональная норма (здоровые) (n = 40)	Гломерулонефрит		p <
			на 3-й день (n=58)	на 14-й день (n=56)	
		M±SD	*M±SD*	*M±SD*	
$CD3^+$-лимфоциты	%	61,9±6,3	48,4±11,4***	54,2±9,5***	0,001
	10^6/л	1246±369	997±356**	1142±322	0,05
$CD4^+$-лимфоциты	%	37,8±6,2	30,0±8,5***	33,0±7,5***	0,05
	10^6/л	757±236	625±248**	688±207	NS
$CD8^+$-лимфоциты	%	24,4±3,4	21,1±6,4***	24,2±5,6	0,01
	10^6/л	471±170	432±167	512±174	0,05
$CD20^+$-лимфоциты	%	14,3±4,5	15,6±6,2	16,2±9,4	NS
	10^6/л	289±145	331±172	341±171	NS
$CD25^+$-лимфоциты	%	6,9 ± 2,6	4,8±1,6***	5,7±3,4*	NS
	10^6/л	143± 83	101±50**	120±74	NS
$CD95^+$-лимфоциты	%	19,9±6,0	14,9±5,9***	14,8±5,5***	NS
	10^6/л	393±137	288±162***	309±142**	NS
IgM	г/л	1,2±0,3	1,6±0,6***	1,7±0,7***	NS
IgG	г/л	12,0±1,9	12,4±6,9	11,5±3,1	NS
IgA	г/л	1,8±0,5	2,2±0,8*	2,1±0,8*	NS
ЦИК	у.ед.	18,1±9,2	22,6±9,3*	9,1±5,8***	0,001
Фагоцитарный индекс	%	62,8±6,1	54,7±6,2***	52,3±5,1***	0,05
Фагоцитарное число		4,2±0,7	4,0±0,7	4,5±5,4	NS

Не все из выявленных у больных иммунологических отклонений сохранялись к концу стационарного этапа лечения: так, абсолютное число Т-лимфоцитов, процентное число цитотоксических Т-клеток увеличивались относительно исходных значений и достигали уровня здоровых на 14-й день лечения. Конечные абсолютные значения содержания Т-хелперных клеток, $CD25^+$-клеток, не отличавшиеся от исходных значений, приближались к уровням здоровых лиц.

На следующем этапе исследования проводилась оценка гемато-иммунологических показателей у больных с различной формой течения заболевания – острым ГН и хроническим ГН в фазе обострения (табл. 3). При этом установлено существенное снижение показателей красного ростка крови у больных хроническим течением ГН относительно здоровых, в то время как при остром ГН зафиксировано снижение лишь конечного значения числа эритроцитарных клеток, определенного перед выпиской из стационара. У больных острым ГН было увеличено исходное число лейкоцитов за счет нейтрофильных клеток. Изменения процентного числа эозинофилов относительно здоровых были противоположны в исследуемых группах больных: при остром ГН этот показатель уменьшался, при хроническом – повышался. У больных хроническим ГН были достоверно ниже референсных уровней исходные значения ряда иммунологических показателей – абсолютного числа Т-лимфоцитов, Т-хелперных клеток, содержания $CD95^+$-лимфоцитов в абсолютном и относительном выражении, а также – фагоцитарного числа. Что касается конечных показателей (на 14-й день лечения), то при остром ГН появлялось новое различие относительно региональной нормы – снижение концентрации IgG.

Таблица 3

Иммуно-гематологические показатели у больных с различным характером течения ГН

Показатели		Острый ГН (n = 9)	Хронический ГН (n = 49)	p <
		M±SD	***M±SD***	
Эритроциты, $\times10^9$/л	1	4305±438	4126±436***	NS
	2	4166±593*	4043±696***	NS
Гемоглобин, г/л	1	136,5±17,4	129,1±15,8**	NS
	2	140,9±17,7	134,0±17,1	NS
Лейкоциты, $\times10^6$/л	1	7466±1884***	6156±1736	NS
	2	6011±1759	5506±1780	NS
Нейтрофилы,%	1	64,0±14,2	58,7±9,0	NS
	2	63,0±8,5	57,6±7,8	NS
Нейтрофилы , $\times10^6$/л	1	4946±2265*	3703±1382	0,05
	2	3840±882	3449±1426	NS
Лимфоциты,%	1	30,4±14,0	34,1±7,6	NS
	2	30,6±7,6	35,1±7,6	NS
Лимфоциты, $\times10^6$/л абс2	1	2127±808	2052±565	NS
	2	1896±739	2154±612	NS
Эозинофилы,%	1	1,8±1,0*	3,4±2,4***	0,001
	2	2,2±1,0	3,4±2,0***	0,01
СОЭ, мм/ч	1	22,43±16,7	12,98±10,35	0,05
	2	17,1±18,6	13,9±10,8	NS
$CD3^+$-лимфоциты,%	1	48,0±10,5***	48,7±11,7***	NS
	2	53,2±8,8**	54,6±9,7***	NS
$CD3^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	1011±437	984±341***	NS
	2	978±278*	1156,1±325	NS
$CD20^+$-лимфоциты,%	1	17,3±5,5	15,4±6,3	NS
	2	17,4±6,7	16,2±9,8	NS

Окончание табл. 3

Показатели		Острый ГН (*n* = 9)	Хронический ГН (*n* = 49)	*p* <
		M±*SD*	*M*±*SD*	
$CD20^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	381±218	321±165	NS
	2	344±198	339±172	NS
IgM, г/л	1	1,9±0,6**	1,6±0,6***	NS
	2	2,1±0,8**	1,6±0,7***	NS
IgG, г/л	1	10,6±4,2	12,8±7,3	NS
	2	8,9±2,2***	11,9±3,0	0,001
IgA, г/л	1	2,2±0,9	2,2±0,8**	NS
	2	2,0±0,8	2,1±0,8*	NS
Фагоцитарный индекс,%	1	55,3±8,4*	54,6±5,8***	NS
	2	51,0±10,6**	52,6±4,2***	NS
Фагоцитарное число, у.ед.	1	4,2±1,1	3,9±0,7*	NS
	2	3,6±0,7*	4,7±5,8	NS
$CD4^+$-лимфоциты,%	1	30,3±8,7*	30,0±8,6***	NS
	2	37,0±7,5	32,5±7,5***	NS
$CD4^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	643±293	613±238**	NS
	2	694±260	678±198	NS
$CD8^+$-лимфоциты,%	1	20,8±4,8*	21,2±6,7**	NS
	2	20,8±2,9**	25,0±5,4	0,01
$CD8^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	434,2±174,9	428,2±168,0	NS
	2	387±124	532±175	0,01
$CD25^+$-лимфоциты,%	1	4,5±1,3***	4,9±1,7***	NS
	2	7,8±8,4	5,4±1,9**	0,05
$CD25^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	95,5±53,1*	102,6±51,3**	NS
	2	172,5±197,4	113,3±42,6*	0,05
$CD95^+$-лимфоциты,%	1	17,9±8,0	14,5±5,4***	NS
	2	12,8±5,5**	15,1±5,6***	NS
$CD95^+$-лимфоциты, $\times10^6$/л	1	307±206	281±156***	NS
	2	216±117***	319,4±142*	0,05

Примечание. *p* < – достоверность различий между значениями показателей больных острым ГН и хроническим ГН по *t*-критерию Стьюдента; * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$; *** p – $p < 0,001$ – достоверность различия показателей больных ГН относительно группы здоровых; 1 – значение показателя до лечения, 2 – значение показателя после лечения.

Результаты исследования показали, что иммуно-гематологические показатели больных ГН существенно отличаются от таковых у здоровых. Изменения, установленные в гемограмме больных (нейтрофильный лейкоцитоз, повышение СОЭ, моноцитоз, уменьшение численности эритроцитов, снижение уровня гемоглобина), свидетельствуют в целом об умеренно выраженном воспалительном процессе и угнетении эритропоэза при данном заболевании. Обнаруженные в ходе исследования иммунологические сдвиги при ГН являются отражением угнетения клеточного механизма адаптивного иммунитета, фагоцитарной активности нейтрофилов на фоне активации гуморального звена адаптивного иммунного ответа, что согласуется с данными, полученными другими авторами [3, 4].

Следует отметить, что в настоящее время не существует четких критериев дифференциальной диагностики острого и хронического ГН и диагноз в большинстве случаев ставится на учете анамнестических данных [6]. В литературе встречаются работы по исследованию генетических маркеров хронизации ГН [3, 12]. Проведенное нами исследование выявило различия в иммуно-гематологических показателях у больных ГН в зависимости от характера клинического течения заболевания, которые можно использовать при проведении дифференциальной диагностики острого и хронического ГН. Очевидно,

что могут быть полезны в этом плане лишь исходные значения лабораторных показателей, определенные при поступлении на стационарное лечение, в связи с тем, что конечные значения во многом зависимы от проведенной фармакотерапии. Из приведенного выше ряда исходных значений показателей, имевших различный характер изменений относительно группы здоровых в зависимости от характера клинического течения, не все могут быть пригодны для использования в дифференциальной диагностике острого и хронического ГН. Так, у больных хроническим ГН показатели красного ростка, хотя и снижены относительно группы здоровых, не имеют достоверных различий от значений группы больных острым течением ГН. Число лейкоцитов при остром ГН увеличено по сравнению с аналогичным показателем здоровых, но не отличается от значения больных хроническим ГН. Также нет различий в группах больных с разным характером клинического течения ГН и по ряду иммунологических показателей – абсолютному числу Т-лимфоцитов, Т-хелперных клеток, содержанию $CD95^+$-лимфоцитов, фагоцитарному числу. Другая ситуация складывается по таким показателям, как абсолютное число нейтрофилов и процентное число эозинофилов, изменения которых относительно здоровой группы имеют различный характер в группах больных: число эозинофилов уменьшено при остром ГН, но увеличено при хроническом течении заболевания и в то же время имеет место различие высокой степени достоверности между значениями групп больных; абсолютное число нейтрофилов у больных острым ГН увеличено относительно значений региональной нормы и группы пациентов с хроническим ГН. Для данных показателей были рассчитаны медиана и перцентильные значения P_{10} (меньше этого значения 10% переменных выборки) и P_{90} (больше этого числа 10% переменных выборки). Так, у больных острым ГН медиана содержания нейтрофилов составила 4750×10^6/л с перцентильными значениями от 2540 до 8810×10^6/л, у больных хроническим ГН медиана данного показателя – 3690×10^6/л, перцентильные значения – 2220-5150×10^6/л. Следовательно, значения абсолютного числа нейтрофилов больше 5150×10^6/л повышают вероятность диагноза в пользу острого гломерулонефрита при наличии других признаков острого течения ГН. При остром ГН медиана числа эозинофилов – 2%, перцентильные значения – 1-4%, при хроническом 3% и 3-7%, соответственно. Отсюда следует, что количество эозинофилов более 4% может быть решающим в установлении хронического течения ГН. Вопреки нашим ожиданиям, исследованные показатели врожденного и приобретенного иммунного ответа оказались непригодными к использованию в качестве диагностических критериев установления формы клинического течения ГН.

Выводы. 1. Иммуно-цитокиновые изменения при ГН в целом свидетельствуют об умеренной активности воспалительного процесса, депрессии эритропоэза, угнетении клеточного механизма адаптивного иммунитета и фагоцитарной активности нейтрофилов на фоне активации гуморального иммунного ответа.

2. Абсолютное число нейтрофилов и относительное число эозинофилов, определенные до начала лечения больного ГН, можно использовать для дифференциации характера клинического течения ГН.

3. Значения абсолютного числа нейтрофилов больше 5150×10^6/л повышают вероятность диагноза в сторону острого гломерулонефрита.

4. Количество эозинофилов более 4% может быть решающим в установлении хронического течения ГН.

Литература

1. *Бикбов Б.Т.,Томилина Н.А.* Состояние заместительной терапии больных с хронической почечной недостаточностью в Российской Федерации в 1998–2007 гг. (Аналитический отчет по данным Российского регистра заместительной почечной терапии) // Нефрология и диализ. 2009. Т. 11, № 3.С. 146-222.

2. *Гриневич Ю.А., Алферов А.Н.* Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. 1981. № 8. С. 493-495.

3. *Еникеева З.М., Ахмадеева Э.Н., Имаева Л.Р., Агзамова Р.Ф.* Острый гломерулонефрит у детей: факторы риска, течение, исходы // Педиатрия. 2012. № 6. С. 17-21.

4. *Жесткова В.В., Маковецкая Г.А., Козупица Г.С.* Субпопуляционный состав лимфоцитов периферической крови и фибронектин плазмы у детей с нефротической формой гломерулонефрита // Педиатрия. 1997. № 6. С. 18-21.

5. *Ковальчук Л.В., Сусликов В.Л., Карзакова Л.М., Соколова Е.В.* Иммунная реактивность организма в условиях естественного дефицита цинка // Иммунология. 2004. № 6. С. 336-339.

6. *Мухин Н.А., Тареева И.Е., Шилов Е.М., Козловская Л.В.* Диагностика и лечение болезней почек. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 384 с.

7. Об уточнении клинико-морфологической классификации хронического гломерулонефрита / *В.А. Варшавский, Е.П. Проскурнева, А.Б. Гасанов и др.* // Нефрология и диализ. 1999. Т. 1. С. 2-3.

8. C3 Glomerulonephritis: clinicopathologic findings, complement abnormalities, glomerular proteomic profile, treatment and follow-up / *S. Sethi, F.C. Fervenza, Y. Zhang et al.* // Kidney Int. 2012. Vol. 82. P. 465-473.

9. *Manchini G., Carbonara A.O., Heremans J.F.* Immunochemical quantitation of antigens by single radial immunodiffusion // Int. J. Immunochemistry. 1965. Vol. 2, № 1. P. 235-249.

10. M-type phospholipase A2 receptor as target antigen in idiopathic membranous nephropathy / *L.H. Beck, R.G. Bonegio, G. Lambeau et al.* // N. Engl. J. Med. 2009. Vol. 361, № 1. P. 11-21.

11. *Werner T., Brodersen H.P., Janssen U.* Analysis of the spectrum of nephropathies over 24 years in a West German center based on native kidney biopsies // Med. Klin. (Munich). 2009. Vol. 104, № 10. P. 753-759.

12. *Wong W., Morris M.C., Zwi J.* Outcome of severe acute poststreptococcal glomerulonephritis in New Zealand children // Pediatr. Nephrol. 2009. Vol. 24. P. 1021-1026.

АВТОНОМОВА ОЛЬГА ИЛЬИНИЧНА – заведующая нефрологическим отделением, Республиканская клиническая больница, Россия, Чебоксары.

AVTONOMOVA OLGA ILYINICHNA – head of Nephrology Office, Republican Clinical Hospital, Russia, Cheboksary.

КАРЗАКОВА ЛУИЗА МИХАЙЛОВНА – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (luizak58@mail.ru).

KARZAKOVA LOUISA MIKHAYLOVNA – doctor of medical sciences, professor, head of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ГЕРАНЮШКИНА ЕВГЕНИЯ ИВАНОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

GERANUSHKINA EVGENIYA IVANOVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КОМЕЛЯГИНА НАДЕЖДА АНАТОЛЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KOMELYAGINA NADEZHDA ANATOLYEVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КУДРЯШОВ СЕРГЕЙ ИГОРЕВИЧ – студент V курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KUDRYASHOV SERGEY IGOREVICH – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616-073.7:616-006:616-036.22:616.22-08
ББК. 55694.694.13+53.64

Р.Ф. АКБЕРОВ, С.Р. ЗОГОТ, К.Ш. ЗЫЯТДИНОВ

ГЕПАТОЦЕЛЛЮЛЯРНЫЙ РАК: ЭПИДЕМИОЛОГИЯ, ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ (обзор литературы)

Ключевые слова: *гепатоцеллюлярный рак, этиология, лучевая диагностика, лечение, обзор литературы.*

Представлены литературные сведения об этиологии, лучевой диагностике, современных методах лечения гепатоцеллюлярного рака.

R.F. AKBEROV, S.R. ZOGOT, K.Sh. ZYYATDINOV

HEPATOCELLULAR CARCINOMA: EPIDEMIOLOGY, X-RAY DIAGNOSTICS, MODERN METHODS OF TREATMENT (review of literature)

Key words: *hepatocellular carcinoma, etiology, X-ray diagnostics, treatment, literature review.*

Here is represented by literary information on the etiology, X-ray diagnostics, advanced aspects of the treatment of hepatocellular carcinoma.

Первичный рак печени (ПРП) более чем в 90% развивается из гепатоцеллюлярных клеток паренхимы печени. Гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) занимает 6-е место в структуре онкологической заболеваемости среди всех регистрируемых случаев рака [1, 2, 7, 12]. ГЦР составляет 95% из общего числа гепатоцеллюлярных, билиарных и мезодермальных новообразований человека [1, 2, 7, 12, 24]. ПРП является одним из тяжелых заболеваний, частота которого колеблется в пределах от 0,8 до 50,6% всех злокачественных новообразований в мире.

В России ежегодно регистрируется более 700 случаев первичного рака печени. ГЦР составляет 85% всех злокачественных опухолей печени, а холангиоцеллюлярный рак (ХЦР) – 5-10% [1, 9, 15]. В структуре онкологических смертей ГЦР находится на 3-м месте. Россия по показателям смертности от ПРП занимает 6-е место в Европе и 31-е в мире.

ПРП – смертельное заболевание, соотношение заболевших к умершим – 0,95; в США этот показатель равен 0,87. Наивысшие уровни заболеваемости и смертности отмечены в странах Африки и Юго-Восточной Азии. ГЦР более чем в 80% случаев возникает на фоне цирроза печени, самой частой причиной развития которого являются гепатиты В и С [15, 18-20]. Среди конкурирующих гипотез в развитии ГЦР главенствующую роль играют вирусные факторы (гепатиты В и С).

В 1994 г. Международное агентство по изучению рака в Лионе официально зарегистрировало вирус гепатита В как канцерогенный для людей фактор. Известно, что вакцинация детей на Тайване привела к значительному снижению заболеваемости ГЦР, обусловленного HBV.

В 1989 г. охарактеризован вирус гепатита С (HCV). Антитела к HCV обнаруживаются у 20-75% больных в разных странах. Более чем в 12 раз превышен риск развития ГЦР у лиц, инфицированных гепатитом С.

Ведущими этиологическими факторами развития ГЦР являются хронические гепатотропные вирусные инфекции, 75-80% всех ГЦР носит «вирусный характер», причем 50-55% приходится на долю HBV-инфекции, 25-30% – на долю HCV-инфекции [15]. Отмечается снижение частоты ГЦР в странах Азии, тради-

ционно высокоэндемичном регионе по HBV-инфекции (15 случаев на 100 000 населения), после массового введения вакцинации от гепатита В. Тогда как в Европе и США за последние 20 лет частота ГЦР увеличилась в 1,5-2 раза, главным образом за счет широкого и быстрого распространения HCV-инфекции, поскольку известно, что ГЦР – наиболее частое осложнение и причина смерти больных циррозом печени в исходе хронического гепатита С (ХГС).

Факторы развития ГЦР: хронические гепатотропные инфекции, HBV, HCV, HDV-инфекции, врожденные заболевания печени, наследственный гемохроматоз, дефицит альфа-1-антитрипсина, тирозинемия, афлатоксикоз [23], цирроз печени любой этиологии. При HBV-инфекции происходят дезорганизация и перестройка ДНК гепатоцитов, лежащих в основе развития опухоли. Развитие ГЦР при HCV-инфекции происходит вследствие воспалительно-регенеративно-диспластических процессов на фоне цирротической трансформации печени (не менее чем в 97% случаев). При HBV-инфекции опухоль может возникать не только на фоне цирроза (75% случаев), но и у больных хроническим гепатитом В (ХГВ) и даже при «неактивном носительстве» HBsAg.

При коинфекции HBV и HCV риск развития ГЦР значительно возрастает. В последние годы формирование ГЦР при алкогольном циррозе печени большинство авторов связывает с высокой частотой инфицирования HBV и HCV. Наличие цирроза печени независимо от его генеза является одним из важнейших факторов развития ГЦР. Гепатоцеллюлярный рак чаще поражает женщин. Встречаемость ПРП возрастает с возрастом. ГЦР выявляется и у детей, причем в большинстве случаев имеет место инфицирование гепатитом В или такой болезни обмена, как тирозинемия [23].

Лучевые методы исследования злокачественных образований печени. Скрининговым методом обследования больных с риском развития ГЦР является УЗИ, которое способно выявить образования менее 2-3 см («мелкие опухоли»), даже если уровень альфа-фетопротеина остается нормальным [1, 7, 12].

Макроскопически выделяют несколько вариантов роста. Опухоль считается одиночной или массивной при наличии солитарного (мелкого или крупного) образования. Вторым по частоте встречаемости является многоочаговый ГЦР, характеризующийся наличием множественных отдельных узлов. Реже наблюдается картина диффузного или циррозноподобного роста, при которой мелкие опухолевые узлы, разбросанные по всей печени, напоминают цирротические узлы. Эхогенность новообразования изменяется в зависимости от размеров опухоли. Узлы менее 3 см обычно имеют четкие границы, гипоэхогенны и гомогенны, а опухоли более 3 см гетерогенны, картина их мозаична или смешанна в связи с наличием зон некроза, кровотечений, жировой дегенерации и фиброза. При диффузной форме опухолевая инфильтрация приводит к изменению эхоструктуры печени [1, 7, 12, 30]. УЗИ с ЦДК выявляет кровоток опухоли от периферии к центру. Энергетическая доплерография лучше выявляет сосудистый кровоток опухоли от периферии к центру.

Широкое применение нашли методики тканевого гармонического исследования, гармонической энергетической доплерографии и цветовой гармонической ангиографии, которые значительно улучшают характеристику ГЦР. Они также используются в комбинации с введением контрастного препарата. Целью УЗИ с контрастным усилением у больных с циррозом печени является дифференцировка ГЦР от регенеративных (очаговая узловая гиперплазия ОУГ) и диспластических узлов. При данном исследовании в артериальную фазу можно визуализировать около- и внутриопухолевое хаотическое скопление уродливых

сосудов (обусловленных неоангиогенезом) и в большинстве случаев выявить питающие сосуды.

На большом клиническом материале Р.Ф. Акберовым с соавт. [1, 7, 12] изучена эффективность УЗИ в сочетании с МРТ в дифференциальной диагностике ГЦР, ХЦР с гемангиомами, кистами, поликистозом, альвеококкозом, метастазами, абсцессами, аденомами. Установлено, что УЗИ в В-режиме – высокочувствительный метод (100%) в выявлении очаговой патологии печени с низкой специфичностью и диагностической точностью. МРТ, МРТ с контрастным усилением – высокоинформативный метод диагностики первичного рака печени, метастатического поражения, доброкачественных очаговых поражений печени. Чувствительность, специфичность, диагностическая точность составили 95, 92, 92%, соответственно.

При КТ картина ГЦР зависит от размеров опухоли и степени дифференцировки. Чувствительность метода в выявлении мелких новообразований достаточно низкая. При мелких новообразованиях усилен кровоток, и их можно визуализировать в артериальную фазу контрастного усиления. Они резко усиливаются в раннюю артериальную фазу, а в фазу воротной вены происходит быстрое «вымывание» контрастного вещества.

При более крупных опухолевых узлах ввиду того, что кровоснабжение опухоли может осуществляться по воротной вене, визуализация ГЦР происходит в фазу воротной вены, а вследствие наличия в крупных узлах очагов некроза, кровоизлияний, жировой дегенерации их можно визуализировать в раннюю артериальную фазу. ГЦР на Т1-ВИ гипоинтенсивен, ГЦР на Т2-ВИ гиперинтенсивен. МРТ с динамическим контрастным усилением является основным методом дифференцировки диспластических узлов, узлов с участками злокачественного перерождения и ГЦР. Злокачественные опухоли при однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или планарной сцинтиграфии с $ТС^{99m}$-коллоидом и мечеными эритроцитами не накапливают радиофармацевтический препарат (РФП) в повышенном количестве. Для диагностики таких новообразований используются туморотропные РФП GA^{67}-цитрат, $ТС^{99}$-актреотид (аналог соматостана). На томосцинтиграммах с туморотропными РФП опухолевые узлы визуализируются в виде очагов гиперфиксации препарата на фоне отсутствия накопления в нормальной паренхиме печени [11].

ГЦР при позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) определяется в виде зоны повышенного метаболизма (SUV = 4-8), которая лучше проявляется при отсроченном сканировании [11].

Современные методы лечения ПРП. В настоящее время основным методом лечения ПРП остается хирургический [8, 24, 26, 32]. Однако остро встает вопрос о возможности проведения резекции печени при наличии в ней сопутствующих патологических процессов, а также выполнения повторных операций при диагностировании метахронных опухолей печени, рецидивов и метастазов в оставшейся части печени. При невозможности оперативного вмешательства в связи с выраженными сопутствующими заболеваниями, распространенностью опухолевого процесса используются радиочастотная термоаблация [5, 6, 10, 34], химическая аблация (локальная инъекционная терапия этанолом) [3, 22, 24], радиочастотная эмболизация с микросферами [16, 21, 27], масленная химиоэмболизация печеночной артерии [14, 31, 33, 34].

По литературным данным, абсолютными противопоказаниями к резекции печени являются: генерализация опухолевого процесса на обе доли печени, множественные метастазы в лимфоузлах и органах (легкие, кости), выражен-

ный цирроз печени, поражение опухолью кавальных и портальных вен, ворот печени, нижней полой вены, тяжелое общее состояние больного. Процент летальности после резекции печени колеблется в пределах от 3,5 до 21,8% [13] из-за печеночной недостаточности на фоне исходного цирроза печени. Имеются публикации о том, что при больших резекциях печени послеоперационная летальность достигает 30-50%. Наибольшее влияние на непосредственные результаты лечения первичного рака печени оказывают вирусные гепатиты и цирроз печени.

Основным критерием эффективности хирургического лечения больных раком печени является выживаемость. Пятилетняя выживаемость после резекции печени при ГЦР, по данным литературы, варьирует от 25 до 55%. Результаты лечения холангиоцеллюлярного рака печени остаются неутешительными [9, 15]. По литературным данным, пятилетняя выживаемость больных колеблется от 26 до 35%.

Основными показаниями для трансплантации печени являются: солитарные опухоли до 5 см или не более трех очагов в печени размером до 3 см, отсутствие внепеченочного распространения опухоли. Использование трансплантации печени ограничено из-за сложности в подборе доноров и высокой стоимости [19, 34].

Теоретическим преимуществом трансплантации печени (ТП) является возможность полного удаления больного органа и замены его здоровым, что, безусловно, повышает радикальность лечения [4, 17, 28]. К началу 1990-х гг. количество ТП перевалило за 20 000, а однолетняя выживаемость при большинстве нозологических форм приблизилась к 80%; появилась возможность оценки причин неудовлетворительных результатов при ГЦР. Наиболее отрицательное влияние на негативный прогноз ТП имеют неверифицированные отдаленные метастазы, опухолевые инвазии в соседние органы и поражение регионарных лимфоузлов, сопутствующий цирроз печени, печеночная недостаточность. Среди локальных факторов выделяются размеры опухоли более 5 см, сателлитные очаги, мультифокальность, сосудистая инвазия, поражение капсулы печени, высокий уровень АФП, степень дифференцировки.

По данным [26], четырехлетняя выживаемость у пациентов с «малыми» ГЦР и циррозом печени составила 85% случаев. Были разработаны «миланские» критерии отбора больных для трансплантации печени больных с ГЦР. Этими критериями руководствуется большинство центров, достигая очень хороших результатов лечения больных с ГЦР. Путь к улучшению результатов лечения ГЦР лежит в ранней диагностике, совершенствовании комбинированных методов противоопухолевого воздействия, увеличении доступности трансплантации печени. Попытки разработки комбинации ТП с разными схемами химиотерапии в неадъювантных и адъювантных режимах предпринимались еще более 20 лет назад. Новая волна интереса поднялась с внедрением в практику таких локорегионарных методик противоопухолевого воздействия, как интраартериальная химиоинфузия, химиоэмболизация, радиочастотная аблация. Лечение ГЦР до ТП следует рассматривать не столько как адъювантную терапию, сколько как смену лечебной модели с менее на более радикальную. Методика ТП от живого родственника при раке на фоне цирроза печени нашла распространение в Америке и Европе. Родственная трансплантация печени при ПРП имеет перспективы. В настоящее время ТП является одним из стандартов лечения ГЦР, особенно на фоне цирроза печени. В нерезектабельных случаях ТП может существенно продлить жизнь или полностью излечить боль-

ного. При отсутствии возможности пересадки трупного органа родственная трансплантация печени может явиться разумной альтернативой [18].

В настоящее время не существует малоинвазивного метода аблации, вызывающей 100% некроз злокачественной опухоли. Бесспорным показанием к применению химической аблации (этиловый спирт) считают гепатоцеллюлярный рак 1-2-й стадии, развивающийся на фоне цирроза печени [3]. При первичных поражениях печени, не превышающих 5 см в диаметре, полная деструкция опухолевого узла наблюдается в 75% случаев, при опухолях более 5 см – в 60% случаев. Частота осложнений, связанных с химической аблацией, составляет около 10%, частота летальных осложнений – 0,09%. Наибольший опыт с учетом эффективности использования радиочастотной аблации, накоплен при лечении первичных и метастатических опухолей печени. Действие радиочастотной аблации основано на энергии радиочастотных колебаний, воздействующих на опухолевую ткань, нагревающих ее до 530°С, что приводит к денатурации белков с расплавлением клеточных мембран, последующим развитием некроза и замещению пораженного участка соединительной тканью. Частота полных некрозов как первичных, так и метастатических опухолей варьирует от 24 до 98%. Наиболее хорошие результаты отмечены при опухолях с диаметром 3 см. При криодеструкции значительная дегидратация ткани в процессе образования кристаллов льда экстра-, интрацеллюлярно, ведет к резкому увеличению концентрации электролитов в клетке. Происходит механическое повреждение клеточных мембран кристаллами льда. Сдавление клеточных тел этими кристаллами приводит к денатурации фосфолипидов в клеточных мембранах и прекращению подвижности протоплазмы, вследствие чего возникает термический шок.

Прекращение кровообращения в замороженной ткани ведет к образованию ишемического некроза. Клинические исследования показали, что криодеструкция – эффективный метод локодеструкции опухолей, который практически не имеет противопоказаний. Существенное преимущество метода – возможность неоднократно проводить криогенное воздействие на опухолевый узел. Использование криодеструкции позволяет полностью разрушить заданный объем опухолевой ткани как на поверхности, так и в глубине органа, вызывая лишь минимальную перифокальную реакцию. Методы локальной деструкции являются составной частью общего подхода к лечению опухолей печени. Являясь эффективными элементами циторедуктивного лечения, эти методы позволяют добиться удовлетворительных ближайших и отдаленных результатов лечения больных при первично неоперабельных, метастатических новообразованиях печени при сохранении качества жизни больных.

Литература

1. *Акберов Р.Ф., Зогот С.Р., Ким А.Б.* Комплексная клинико-лучевая диагностика холангиоцеллюлярного рака // Врач-аспирант. 2011. № 5.1(48). С. 121-125.

2. *Базин И.С.* Гепатоцеллюлярный рак – современное состояние проблемы // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 216-229.

3. *Верясова Н.Н.* Лечение злокачественных опухолей печени с применением локальной инъекционной терапии этанолом: автореф. дис. … канд. мед. наук. СПб., 2002. 26 с.

4. *Гранов Д.А.* Трансплантация печени при гепатоцеллюлярном раке // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 273-240.

5. *Долгушин Б.И., Патютко Ю.И., Шолохов В.Н., Косырев В.Ю.* Радиочастотная аблация опухолей печени // Практическая онкология. 2007. Т. 8, № 4. С. 219-226.

6. *Егоренков В.В.* Лечение злокачественных опухолей печени с применением методов локальной деструкции (химическая аблация, криодеструкция, радиочастотная аблация) // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 202.

7. Комплексная лучевая диагностика патологии гепатобилиопанкреатопилородуоденальной зоны / *Р.Ф. Акберов, К.Ш. Зыятдинов, Ю.В. Варшавский и др.* Казань: Медлок, 2013. 288 с.

8. Локальная терапия нерезектабельных опухолей печени / *А.В. Шапошников, Ю.Н. Бердшков, Е.М. Непомнящая и др.* // Анналы хирургической гепатологии. 2004. Т. 9, № 1. С. 89-94.

9. *Майстренко Н.А., Шейко С.Б., Алентьев А.В., Азимов Ф.Х.* Холангиоцеллюлярный рак (особенности диагностики и лечения) // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 229-237.

10. *Таразов П.Г.* Рентгеноэндоваскулярные вмешательства в лечении первичного рака печени // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 209-215.

11. *Труфанов Г.Е.* Лучевая диагностика заболеваний печени (МРТ, КТ, УЗИ ОФЭКТ и ПЭТ) / под ред. Г.Е. Труфанова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 263 с.

12. УЗИ в сочетании с магнитно-резонансной томографией в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных очаговых заболеваний печени / *Р.Ф. Акберов, К.Ш. Зыятдинов, С.Р. Зогот и др.* // Поволжский онкологический вестник. 2012. № 1. С. 15-21.

13. Хирургическое лечение первичного рака печени / *Ю.Н. Патютко, И.В. Сагайдак, Е.С. Чугуев и др.* // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 197-202.

14. Чрескатетерная артериальная химиоэмболизация неоперабельного гепатоцеллюлярного рака / *Э.Р. Виршке, Б.И. Долгушин, Г.А. Кучинский и др.* // Медицинская визуализация. 2007. № 5. С. 68-75.

15. *Ярошенко Е.Б., Буркевич Э.З., Майсюк Е.Г.* Роль вирусных гепатитов в развитии гепатоцеллюлярной карциномы // Практическая онкология. 2008. Т. 9, № 4. С. 189-194.

16. Activation of tumor – specific-T-lymphocytes by radiofrequence ablation of the VX2 hematoma rabbits / *T.T. Wissinowski, J. Hansler, D. Neureiter et al.* // Cancer Res. 2003. Vol. 63. P. 496-650

17. Analyzis of long-term outcomes of 3200 liver transplantations over two decades. A single centre experience / *R.W. Buzuttil, D.G. Farmer, H.A. Yersiz et al.* // Ann. Surg. 2005. Vol. 241. P. 905-916.

18. *Beasley R.P., Hwang L.Y.* Overview on the epidemiology of hepatocellular carcinoma // Hollinger F.B., Lemon S.M., Margolis H.S. Viral hepatitis and liver disease. Baltimore: Williams S.I., Wilkins, 1991. P. 532-535.

19. *Bosh F.X., Ribes J., Borras J.* Epidemiology of primary liver cancer // Semin. Liver Dis. 1999. Vol. 19. P. 271-285.

20. Chronic viral hepatitis and hepatocellular carcinoma / *Y. Barazani, J.R. Hiatt, M.J. Tong et al.* // World J. Surg. 2007. Vol. 31. P. 1245-1250.

21. Drug-loaded microspheres for the treatment of liver cancer: Review of current results / *J. Kettenbach, A. Stadler, I. Katzler von et al.* // Cardiovasc. Intervent. Radiol. 2008. Vol. 31, № 3. P. 468-476.

22. *Elgindy N., Lindholm Y., Ganven P.* High-dose percutaneous ethanol injection therapy of liver tumors: Patient acceptance and complications // Acta Radiologia. 2000. Vol. 41, № 5. P. 458-463.

23. *Enwoni C.O.* The role of dietary aflotoxin in the genesis of hepatocellular carcinoma in developing countries // Lancet. 1984. Vol. 2. P. 956-958.

24. *Huo T.I., Lee S.D., Wu J.C.* For hepatocellular carcinoma: look for a perfect classification system // J. Hepatol. 2004. Vol. 40(6). P. 1041-1042.

25. *Kawarad A., Mizumoto R.* Cholangiocellular carcinoma of the iver // Amer. J. Surg. 1994. Vol. 3. P. 354-359.

26. *Little S.A., Fong Y.* Hepatocellular carcinoma: current surgical management // Semin. oncol. 2001. Vol. 28. P. 474-486.

27. Liver radioembolization with Y 90 microspheres / Ed. by J.I. Bilbao, M.F. Reiser. Berlin: Springer, 2008. P. 163.

28. Liver transplantation for treatment of small hepatocellular carcinoma in patients with cirrhosis / *V. Mazzaferro, E. Regalia, R. Doci et al.* // N. Engl. J. Med. 1996. Vol. 14. P. 728-729.

29. Low-dose intermittent interferon – alpha therapy for HCV – related liver cirrosis after curative treatment of hepatocellular carcinoma / *S. Jeong, H. Aviata, Y. Katamura et al.* // World J. Gastroenterology. 2007. Vol. 113. P. 5188-5195.

30. Pathology of hepatocellular carcinoma and precursors using proton resonance spectroscopy and statiatical classification strategy / *R. Soper, U. Himmelreich, D. Painter, R.I. Somorjai et al.* // Pathology. 2007. Vol. 34(5). P. 417-422.

31. Prognostic factors in patients with advanced hepatocellular carcinoma receving hepatic arterial infusion chemotherapy / *T. Yamasaki, T. Kimura, F. Kurokawa et al.* // J. Gastroenterol. 2005. Vol. 400, № 1. P. 70-78.

32. Surgical results in patients with hepatitis B – related hepatocellular carcinoma, and positive hepatitis B early antigen / *J.H. Chen, G.Y. Chan, W.Y. Lui et al.* // World J. Surgery. 2000. Vol. 24. P. 383-387.

33. Transarterial chemoembolization of unresectable hepatocellular carcinoma with drug eluting bads: Result of an open- label studu 62 patients / *K. Malagari, K. Chartzimichael, E. Alexopoulou et al.* // Cardiovasc. Intervent. Radiol. 2008. Vol. 31, № 2. P. 269-280.

34. Transcatheter arterial chemoembolization in patients with hepatocellular carcinoma on the waiting list for orthotopic liver transplantation / *E. Alba, C. Valls, J. Domingues et al.* // Am. J. Roentgenol. 2008. Vol. 190, № 5. P. 1341-1348.

35. Twenty-four hour intra-arterial infusion of 5-fluorouracil, cisplatin and leucovorin is more effective than 6-hour infusion for advanced hepatocellular carcinoma / *H. Nagai, M. Kanayama, K. Higami et al.* // World J. Gastroenterol. 2007. Vol. 13. P. 280-284.

АКБЕРОВ РЕНАТ ФАЗЫЛОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики, Казанская государственная медицинская академия, Россия, Казань (kgma_362@mail.ru).

AKBEROV RENAT FAZYLOVICH – doctor of medical sciences, professor of Radiation Diagnostics Chair, Kazan State Medical Academy, Kazan, Russia.

ЗОГОТ СВЕТЛАНА РЕНАТОВНА – кандидат медицинских наук, заведующая рентгенодиагностическим отделением, Городская клиническая больница № 7, Россия, Казань (gkb№7@bk.ru).

ZOGOT SVETLANA RENATOVNA – candidate of medical sciences, Head of radiologic department City Clinical Hospital № 7, Russia, Kazan.

ЗЫЯТДИНОВ КАМИЛЬ ШАГАРОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, ректор, Казанская государственная медицинская академия, Россия, Казань (kgma_362@mail.ru).

ZYATDINOV KAMIL SHAGAROVICH – doctor of medical sciences, professor, rector, Kazan State Medical Academy, Kazan, Russia.

УДК 613.98:550.47(470.344)
ББК 577.118.82

Е.В. АЛЕКСАНДРОВ

МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЙ И ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФЕНОМЕНА ДОЛГОЖИТЕЛЬСТВА В ЧУВАШИИ

Ключевые слова: *долгожительство, индекс долгожительства, микроэлементы, микробиоценоз.*

Выполнен медико-социальный и эколого-биогеохимический анализ феномена долгожительства в биогеохимических субрегионах биосферы на территории Чувашии. Сделано предположение об участии микроэлементов питьевой воды и пищевых рационов в процессе «старение ↔ антистарение» через специфические закономерности адаптации кишечной аутомикрофлоры.

E.V. ALEXANDROV

THE MEDICAL-SOCIAL AND ECOLOGO-BIOGEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE LONGEVITY PHENOMENON IN CHUVASHIA

Key words: *longevity, index of longevity, trace elements, microbiosinosis.*

Medical-social and ecologo-biogeochemical analysis of the longevity phenomenon has been made. The trace elements of drinking water of dietery intake were supposed to take part in the process of «aging-antiaging» trougth specifict conformities to the adaption of intestine automicroflora.

Высокая актуальность проблем долгожительства в современный период развития человечества связана прежде всего с численно возрастающей группой пожилых и старых людей, требующей практического решения как для экономики, так и для реформирования системы здравоохранения. Изучением феномена долгожительства как модели естественного физиологического старения занимаются главным образом медики-геронтологи, в задачу которых входят обследование и лечение старых людей. Исследованиями связи феномена долгожительства с аппаратами наследственности продолжают интенсивно заниматься генетики-геронтологи как в нашей стране, так и за рубежом, которые добились значительных успехов в открытии теломеров и теломераз [1]. В последние десятилетия начали появляться научно-исследовательские работы (НИР), раскрывающие некоторые стороны связи феномена долгожительства с этносом, географическими особенностями территорий проживания населения, образом жизни населения многих регионов России [2, 4, 6, 7]. Территория Чувашской Республики, входящей в Приволжский федеральный округ (ПФО), не была ранее включена в планы и программы таких НИР.

Целью исследования является осуществление медико-социального и эколого-биогеохимического анализа феномена долгожительства в Чувашии.

Методологической основой для оценки здоровья населения и среды их обитания служил принцип биогеохимического районирования ограниченных территорий, разработанный В.Л. Сусликовым и В.Д. Семёновым [9].

Материалы и методы исследования. Нами были использованы первичные материалы Пенсионного фонда по Чувашской Республике и Министерства здравоохранения и социального развития Чувашии за 10 лет (2001-2010 гг.). Было проведено анкетирование 459 долгожителей, проживающих в трех биогеохимических субрегионах Чувашии, с использованием разработанной нами анкеты «Ваш образ жизни», использованы официальные данные Федерального центра Роспотребнадзора по Чувашской Республике для сравнительной оценки среды обитания населения трёх биогеохимических субрегионов. Нами проведено комплексное обследование с участием офтальмолога и терапевта 110 долгожителей, постоянно проживающих в различных биогеохимических субрегионах республики. В программу обследования были включены следующие объёмы и методы: 1) измерение систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления по методу Короткова (96 долгожителей); 2) исследование крови, взятой с письменного согласия обследованных из локтевой вены, на общий клинический анализ (96 чел.), на содержание сахара (44 чел.), общего холестерина и липидных фракций (44 чел.) по общепринятым в клинике методам, на содержание 14 макро- и микроэлементов в сыворотке крови (44 чел.) методом атомно-абсорбционного анализа с использованием спектрофотометра «Квант–Z.ЭТА», в пробах волос (36 чел.), ногтей (22 чел); 3) исследование проб кала на дисбактериоз в микробиологической лаборатории республиканской клинической больницы № 1 (22 чел.); 4) изучение питания долгожителей (20 чел.) опросно-весовым методом; 5) исследование 20 проб питьевой воды и 20 суточных пищевых рационов на содержание 14 макро- и микроэлементов методом атомно-абсорбционного анализа в лицензированной лаборатории кафедры профилактический медицины Чувашского государственного университета; 6) тонометрические, тонографические и реофтальмологические исследования 220 глаз у долгожителей с определением гемодинамических, реофтальмологических и гидродинамических показателей по рекомендованным в офтальмологической практике методам.

Все полученные результаты исследований подвергнуты статистической обработке с использованием программного обеспечения: электронных таблиц Excel, Quattro Pro на Intel-совместимом ПК с вычислением *M* – среднего арифметического, *m* – средней ошибки среднего арифметического с оценкой достоверности по критерии Стьюдента и величин вероятности p.

Результаты исследования и их обсуждение. В Чувашской Республике, по данным Пенсионного фонда РФ по ЧР, число жителей в возрасте старше 90 лет, относящихся по классификации ВОЗ к долгожителям, в 2001 г. насчитывалось 39 145 человек, в 2010 г. – 40 112, что не превышает 2,5% от общего населения республики. Абсолютные и интенсивные показатели долгожительства в разрезе сельских административно-территориальных районов республики с расчётом рекомендуемых двух индексов долгожительства (^{1}ИД, ^{2}ИД), представленные в табл. 1, показывают на их значительный разброс.

Полученные данные (табл. 1) характеризуются очень большим разбросом индексов долгожительства как среди мужского, так и среди женского населения при отсутствии каких-либо отличительных особенностей в социально-экономических, историко-культурных и географических условиях административно-территориальных образований на территории Чувашской Республики. Ранее в исследованиях В.И. Козлова и О.Д. Комаровой в 1982 г. очень большой

разбор индексов долгожительства среди жителей территории бывшей СССР объяснялся разнообразием прежде всего социально-экономических и этнических характеристик народов [6]. Отмеченный значительный разброс показателей выявил и анализ аналогичных показателей по городам республики (табл. 2)

Таблица 1

Абсолютные и интенсивные показатели долгожительства в сельских административных районах Чувашской Республики

Районы	Пол		Отношение полов	Индекс долгожительства	
	муж.	жен.		[1]ИД М / Ж	[2]ИД М / Ж
Алатырский	853	2785	1 : 3	87,6 / 246,6	66,1 / 93,5
Аликовский	353	1623	1 : 4	34,9 / 147,6	31,6 / 72,1
Батыревский	430	1297	1 : 3	21,7 / 61,0	19,5 / 44,3
Вурнарский	505	1793	1 : 3	25,8 / 83,2	26,7 / 71,8
Ибресинский	165	559	1 : 4	12,1 / 38,3	12,1 / 37,7
Канашский	512	1503	1 : 3	24,8 / 69,8	23,6 / 65,4
Комсомольский	192	778	1 : 3	14,4 / 55,2	14,0 / 51,3
Козловский	190	833	1 : 4	16,9 / 57,2	15,7 / 51,9
Красноармейский	102	545	1 : 5	12,1 / 59,8	11,6 / 45,4
Красночетайский	126	808	1 : 6	12,7 / 73,4	11,9 / 64,2
Марпосадский	159	845	1 : 6	12,6 / 59,9	12,6 / 42,1
Моргаушский	286	1212	1 : 5	16,4 / 62,3	15,5 / 53,0
Порецкий	215	879	1 : 3	28,2 / 95,5	22,2 / 74,1
Цивильский	273	1199	1 : 5	15,0 / 59,0	15,0 / 47,7
Шемуршинский	112	334	1 : 3	14,5 / 39,2	13,3 / 32,6
Шумерлинский	151	651	1 : 4	24,3 / 94,2	23,7 / 70,7
Чебоксарский	234	1360	1 : 5	8,3 / 44,5	8,0 / 37,7
Ядринский	311	1204	1 : 4	19,7 / 71,6	17,9 / 65,5
Яльчикский	190	613	1 : 3	16,2 / 48,6	15,4 / 41,2
Янтиковский	216	718	1 : 3	23,9 / 76,2	21,0 / 66,7
Урмарский	156	750	1 : 4	11,6 / 51,1	10,5 / 45,9
Итого	5731	22289	1 : 5	21,6 / 75,9	19,4 / 55,9

Таблица 2

Абсолютные и интенсивные показатели долгожительства в городах Чувашии

Города	Пол		Отношение полов	Индекс долгожительства	
	муж.	жен.		[1]ИД М / Ж	[2]ИД М / Ж
Чебоксары	1323	4576	1 : 4	6,63 / 18,6	5,3 / 14,3
Канаш	212	1085	1 : 5	9,57 / 39,1	8,9 / 31,7
Шумерля	141	891	1 : 7	8,79 / 45,29	7,7 / 42,8
Алатырь	486	1147	1 : 3	26,0 / 47,4	23,7 / 45,1
Ядрин	42	152	1 : 3	8,94 / 26,6	7,6 / 24,5
Козловка	109	311	1 : 3	21,84 / 40,86	19,1 / 38,9
Цивильск	171	476	1 : 3	28,9 / 67,5	22,7 / 54,8
Итого	2487	8638	1 : 4	15,81 / 40,76	13,6 / 36,1

Как видно из данных табл. 2, самые высокие показатели долгожительства среди городского мужского населения отмечены в г. Алатырь, самые высокие показатели долгожительства среди городского женского населения зарегистрированы в г. Цивильск. Самые низкие показатели долгожительства как среди городского мужского, так и городского женского населения были зарегистрированы в г. Чебоксары. Предположение об участии в особенностях распространения долгожительства интенсивности и степени загрязнения городской среды обитания не нашло подтверждения при анализе показателей долгожительства в разрезе районов г. Чебоксары (табл. 3).

Таблица 3

Абсолютные и интенсивные показатели долгожительства в районах г. Чебоксары

Районы г. Чебоксары	Пол		Отношение полов	Индекс долгожительства	
	муж.	жен.		^{1}ИД М / Ж	^{2}ИД М / Ж
Московский	617	2047	1 : 3	8,17 / 21,43	5,3 / 14,4
Ленинский	384	1291	1 : 4	7,02 / 18,9	5,3 / 14,2
Калининский	322	1238	1 : 4	4,71 / 15,48	5,3 / 14,3
Итого	1323	4576	1 : 4	6,63 / 18,6	5,3 / 14,3

Сравнительная характеристика районов г. Чебоксары по степени и интенсивности загрязнения среды обитания выбросами промышленных предприятий и автомобильного транспорта, проведённая ранее Е.В. Михайловой и Е.М. Ермолаевой, показала, что Московский район отличается от других районов города самыми низкими величинами загрязнения, и этот район в исследованиях авторов был принят в качестве контрольного для сравнительной экологической оценки города [3, 8]. В наших исследованиях не были получены данные, свидетельствующие о существенных различиях второго индекса долгожительства. Проведённая нами группировка районов и городов по величине наиболее объективного второго индекса долгожительства (табл. 4) показала, что самые высокие показатели долгожительства регистрируются в Алатырском, Вурнарском, Порецком, Шумерлинском и Ядринском районах Чувашии, размещенных в юго-западной и западной частях территории республики.

Таблица 4

Группировка районов и городов Чувашии по средневзвешанной величине ^{2}ИД, ‰

Величины ^{2}ИД	Группы районов	Районы республики
Выше 81,9	сверхвысокие	Алатырский – 89,8
От 61,0 до 81,0	выше среднереспубликанских	Вурнарский – 61,2; Порецкий – 68,15; Шумерлинский – 61,35; Ядринский – 61,72;
От 59,9 до 40,0	среднереспублинские	Аликовский – 51,8; Козловский – 53,04; Цивильский – 41,35; Янтиковский – 43,5; Канашский – 44,67; Красночетайский – 38,05;
От 39,9 до 19,0	ниже среднереспубликанских	Батыревский – 31,9; Ибресинский – 24,9; Комсомольский –32,6; Марпосадский – 27,35; Моргаушский – 34,25; Яльчикский – 28,3; Урмарский – 28,2; Чебоксарский – 22,52; Красноармейский – 28,5
Менее 18,9	сверхнизкие	Шемуршинский – 18,05

Как видно из данных табл. 4, величины ^{2}ИД, превышающие 60,0‰, принятые и рекомендованные В.И. Козловым и О.Д. Комаровой [1] к наиболее «долгожительским» территориям, включают 5 районов Чувашии (Алатырский, Вурнарский, Порецкий, Шумерлинский и Ядринский), которые полностью входят в Присурский биогеохимический субрегион биосферы, отличающийся от других субрегионов уровнями содержания и соотношения макро- и микроэлементов в биогеохимической пищевой цепи с специфическими биологическими реакциями живых организмов [9].

Для сравнительной оценки степени участия биогеохимических факторов в процессе «старение ↔ антистарение» нами были проведены специальные исследования ряда физиологических, биохимических, офтальмологических и микробиологических показателей среди долгожителей, отобранных по выборочной совокупности «копия-пара» в контрастных по величине ^{2}ИД биогеохимических субрегионах биосферы.

Сравнительный анализ результатов комплексного обследования долгожителей показал отсутствие достоверных различий в показателях САД, ДАД, содержании в крови эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов, сахара, холестерина и всех фракций липопротеидов, а также уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в сыворотке крови, в пробах волос и ногтей, абсолютные величины которых находились в пределах возрастных физиологических норм. Вместе с тем при сравнительном анализе полученных нами офтальмологических и микробиологических показателей обнаружены достоверные различия ($\rho < 0,05$). Так, у долгожителей из Присурского и Прикубнино-Цивильского субрегионов существенно отличались показатели эластичности и тонуса сосудов, коэффициенты лёгкости оттока и скорости продукции камерной влаги в глазах, а также коэффициенты активности секреции внутриглазной жидкости. Кишечная микрофлора долгожителей из сравниваемых субрегионов не отличалась существенно, вместе с тем следует обратить внимание на преобладание в толстой кишке долгожителей из Присурского субрегиона колонизационной резистентности лактобактерий и бифидобактерий, что согласуется с данными Е.И. Квасникова с соавт. [5]. Количественный и видовой состав обнаруженных в кишечнике долгожителей Чувашии исследованных нами групп микроорганизмов при отсутствии достоверных различий в питании и образе их жизни [10] дают основание полагать, что показатели нормального микробиоценоза у долгожителей из Присурского субрегиона поддерживаются в условиях аномально-нерегулируемых соотношений микроэлементов в среде обитания (вода и пища) как адаптационный признак повышения силы фактора антистарения в процессе «старение ↔ антистарение».

Литература

1. *Анисимов В.Н.* Молекулярные и физиологические механизмы старения. СПб.: Наука, 2003. 156 с.

2. *Болотнова Т.В., Логинова И.В.* Опыт изучения феномена долгожительства в г. Тюмени. Состояние здоровья долгожителей: влияние наследственных, эколого-климатических, социальных факторов на продолжительность жизни // Успехи геронтологии. 2001. Т. 8. С. 82-88.

3. *Ермолаева Е.М.* Клинико-гигиеническая оценка влияния антропогенных загрязнений на заболеваемость женщин: автореф. … канд. мед. наук. Казань, 2008.

4. *Зубов А.А., Козлов В.И.* О комплексном подходе к изучению феномена долгожительства // Феномен долгожительства: сб. тр. М.: Наука, 1982. С. 13-24.

5. Изучение нормальной микрофлоры пищеварительного тракта долгожителей Абхазии / *Е.И. Квасников, Н.К. Коваленко, С.С. Нагорная и др.* // Феномен долгожительства: сб. тр. М.: Наука, 1982. С. 111-117.

6. *Козлов В.И., Комарова О.Д.* География долгожительства в СССР // Феномен долгожительства: сб. тр. М.: Наука, 1982. С. 30-40.

7. *Никитин Ю.П., Татаринова О.В., Черных Н.И.* Долгожительство в Сибири и на Дальнем Востоке: демографические и клинические аспекты. Новосибирск, 1999. 172 с.

8. *Михайлова Е.В.* Гигиеническая оценка влияния антропогенных факторов на здоровье детей и подростков: автореф. … канд. мед. наук. Казань, 2006. 19 с.

9. *Сусликов В.Л. Семёнов В.Д.* Биогеохимическое районирование Чувашской Республики // Сборник трудов биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 1981. Т. 19.

10. *Сусликов В.Л.* Геохимическая экология болезней. Т. 4. Атеросклероз. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. 380 с.

АЛЕКСАНДРОВ ЕВГЕНИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ – врач-травматолог-ортопед, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары (vikleosus@mail.ru).

ALEXANDROV EVGENIY VITALYEVICH – doctor, City Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

УДК 616.411-001.33
ББК Р457.465.180.8

В.С. АЛЕКСЕЕВ, Е.С. КАТАНОВ

СОЧЕТАННАЯ ТРАВМА СЕЛЕЗЕНКИ

Ключевые слова: *сочетанная травма селезенки, тяжесть травмы, результаты лечения.*

Проанализирован опыт лечения 117 пациентов с сочетанной травмой селезенки, что составило 45,3% всех пострадавших с травмой селезенки за исследуемый период. В 53 (45,3%) случаях травма селезенки сочеталась с черепно-мозговой травмой, в 65 (55,6%) – с травмой груди, в 15 (12,8%) – с повреждением диафрагмы, в 14 (12,0%) – с переломами костей таза, в 5 (4,3%) – с переломами различных отделов позвоночника, в 9 (7,7%) – с разрывами левой почки, в 1(0,8%) – с разрывом уретры и в 29 (24,8%) – с травмой верхних или нижних конечностей различного характера. Средний возраст больных 28,0±12,8 года, 83 пациента были мужского пола, 34 – женского. 114 пациентам произведена лапаротомия. У 28 (24,6%) из них имелись повреждения селезенки III-V степени (по AAST). ISS равнялся 36,0±9,6 балла. 26 пациентам произведена спленэктомия, 1 – резекция и 1 – ушивание селезенки. Летальность составила 28,6%. У 86 пациентов во время выполнения абдоминальной операции выявлены незначительные повреждения селезенки (I-II степень по AAST). У 42 (36,8%) из них имелись повреждения двух и более органов живота. ISS равнялся 36,2±6,6 балла. У 11 (26,2%) больных этой группы селезенку удалось сохранить. Умерло 8 (19,0%) больных. У 44 (38,6%) пациентов после выполнения лапаротомии выявлены незначительные повреждения селезенки I-II степени. ISS равнялся 29,7±6,9 балла. Селезенка сохранена у 9 (20,5%) больных. Летальных исходов в этой группе больных не было.

V.S. ALEXEEV, E.S. KATANOV

COMBINED TRAUMA OF THE SPLEEN

Key words: *combined spleen trauma, severity of injury, treatment results.*

The experience of treatment of 117 patients with a combined spleen trauma that was accounted for 45,3% of all victims with a spleen trauma for the investigated period is analyzed. In 53 (45,3%) cases the spleen trauma was combined with a craniocereberal trauma, in 65 (55,6%) – with a breast trauma, in 15 (12,8%) – with diaphragm damage, in 14 (12,0%) – with fractures of pelvis bones, in 5 (5,3%) – with fractures of various departments of a backbone, in 9 (7,7%) – with damage of kidneys, in 1 (0,8%) – with rupture of an urethra and in 29 (24,8%) – with a trauma of upper or lower extremities of various character. The middle age of a sick person is 28,0±12,8 years, 83 patients were a male, 34 – female. The laparotomy was made to 114 patients. 28 (24,6%) of them had spleen damages of III-V degree (by AAST). ISS was equal to 36,0±9,6 points. Splenectomy was made to 26 patients, 1 – resection of the and 1 – suturing of the spleen. The lethality was accounted for 28,6%. During performance of abdominal operation insignificant spleen damages (I-II degrees by AAST) were detected at 86 patients. 42 (36,8%) of them had damages of 2 and more organs of a stomach. ISS was equal to 36,2 ±6,6 points. At 11 (26,2%) patients of this group a spleen was managed to keep. 8 (19,0%) patient died. At 44 (38,6%) patients only insignificant spleen damages of I-II degree were detected after laparotomy performance. ISS was equal to 29,7±6,9 points. The spleen was kept at 9 (20,5%) patients. There were not lethal outcomes.

В последние десятилетия отмечается общее увеличение травматизма, в структуре которого одно из важнейших мест занимает сочетанная травма живота. Травма селезенки, как правило, сопровождается развитием внутреннего кровотечения и геморрагического шока. В связи со значительной распространенностью и высокой летальностью, не имеющей тенденции к значительному снижению, сочетанная травма живота остается актуальной проблемой экстренной медицины [3, 7, 15]. Нерешенность проблемы обусловлена тяжелым характером процесса [1, 4]. Тяжесть травмы обусловлена тяжестью повреждения и тяжестью состояния пострадавших [5, 9]. При равной тяжести повреждения и патофизиологических изменений тяжесть состояния зависит от функциональных резервов и адаптационных возможностей организма. В связи с этим объективная оценка тяжести состояния сопряжена с определенными трудностями [1, 6].

Сочетание травмы черепа, груди, позвоночника, таза и конечностей с травмой живота усугубляет тяжесть травмы, значительно усложняет диагностику и ухудшает прогноз [2, 8, 13]. Лечебно-диагностический процесс при сочетанной травме диктует согласованность действий медработников различных специальностей.

Исследования с использованием объективных методов оценки тяжести повреждений и состояния пострадавших, результатов их лечения при сочетанной травме селезенки весьма немногочисленны.

Цель исследования – изучение тяжести травмы и результатов лечения пострадавших при сочетанных повреждениях селезенки. Для характеристики тяжести повреждения и тяжести состояния пострадавших были выбраны объективные оценочные системы.

Материалы и методы исследования. Мы провели ретроспективный анализ результатов лечения 117 пациентов с сочетанной травмой селезенки в хирургических стационарах г. Чебоксары и ряде центральных районных больниц Чувашской Республики за период с 1980 по 2011 г.

Средний возраст пострадавших с сочетанной травмой селезенки был равен 28,0±12,8 года, 83 из них были мужского пола, 34 – женского.

35 (29,9%) пострадавших получили сочетанную травму в результате дорожно-транспортного происшествия, 34 (29,1%) пострадавших – при падении с высоты, 17 (14,5%) – в результате колото-резаных ранений, 14 (11,9%) – вследствие побоев, 2 (1,8%) – от ударов тупым предметом, 1 (0,9%) – после применения огнестрельного оружия и у 14 (11,9%) пациентов конкретные обстоятельства травмы установить не удалось.

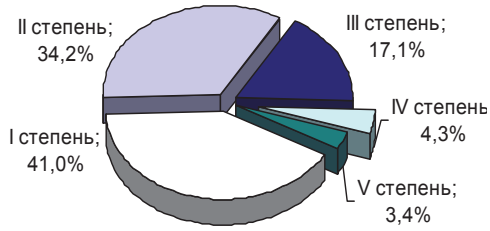
В 53 (45,3%) случаях травма селезенки сочеталась с черепно-мозговой травмой, в 65 (55,6%) – с травмой грудной клетки, в 15 (12,8%) – с повреждением диафрагмы, в 14 (12,0%) – с переломами костей таза, в 9 (7,7%) – с разрывами почки, в 5 (4,3%) – с переломами различных отделов позвоночника, в 1 (0,8%) – с разрывом уретры и в 29 (24,8%) – с травмой верхних или нижних конечностей различного характера (переломы, ранения, размозжение мягких тканей). У 46 (39,3%) пострадавших отмечалось сочетание повреждения трех и более областей тела.

Для оценки тяжести травм по двум параметрам (тяжести повреждения и тяжести состояния) применялись наиболее приемлемые с практических и научных позиций шкалы ISS (Injury Severity Score – Международный стандарт оценки тяжести сочетанной травмы) [9, 11, 15] и ВПХ-СП (ВПХ – кафедра военно-полевой хирургии Военно-медицинской академии (г. Санкт-Петербург), П – поступление, С – состояние) [1, 5, 9]. Тяжесть повреждения селезенки оценивали по классификации AAST (American Association for the Surgery of Trauma – Американской ассоциации хирургии травмы) [7, 10].

При сочетанной травме оценивали тяжесть повреждения отдельной части тела. Морфологические нарушения 5 областей организма (кожи и мягких тканей, головы, груди, живота, конечностей) оценивались по пятибалльной системе. Сумма квадратов трех преобладающих повреждений составляла оценку по ISS.

В соответствии с классификацией AAST с I степенью повреждения селезенки было госпитализировано 48 (41,0%) пациентов, со II степенью – 40 (34,2%) пациентов, с III – 20 (17,1%), с IV – 5 (4,3%) и с V – 4 (3,4%). Распределение больных в зависимости от степени повреждения селезенки произведено на основании изучения данных инструментальных методов исследований, интраоперационных находок и в ряде случаев – на основании осмотра удаленной селезенки.

Процентное соотношение больных по степени повреждения селезенки показано на рисунке.



Распределение больных
по степени тяжести
травматических повреждений селезенки
по классификации AAST

При определении тяжести состояния по шкале ВПХ-СП проводили балльную оценку 12 наиболее значимых и легковыявляемых признаков. Последние характеризовали цвет кожного покрова, состояние дыхательной системы, ЦНС, системы кровообращения, желудочно-кишечного тракта и величину кровопотери, определяемой любым способом.

Результаты исследования и их обсуждение. Из 117 пострадавших с сочетанными повреждениями селезенки 114 произведена лапаротомия. Трое больных не были оперированы. Двое из них поступили в крайне тяжелом состоянии и умерли, не выходя из шока в ближайшее после поступления время. У данных больных имело место повреждение селезенки I и II степени. Третий пациент с сочетанной травмой груди и живота, поступивший в состоянии алкогольного опьянения, умер в течение суток после госпитализации. На аутопсии выявлены гемоперитонеум и разрыв селезенки III степени. Из 19 пострадавших 18 погибли в первые 5 суток после госпитализации от тяжелой сочетанной травмы и один – на 12-е сутки от перитонита. Общая летальность составила 16,2%. Средняя ISS у погибших составила 48,3±6,7 балла, средняя оценка тяжести состояния при поступлении по градации ВПХ-СП – 42,6±2,5 балла. При такой балльной оценке вероятность летального исхода достигает более 75% [5, 9, 13, 15].

Изучение клинического материала показало, что из 114 пациентов, в лечении которых использована активная хирургическая тактика, у 86 (75,4%) после лапаротомии найдены незначительные повреждения селезенки (I-II степени). У 42 пациентов этой группы наряду с травмой селезенки имелись также повреждения других органов живота: разрывы печени (13), диафрагмы (11), кишечника (6), сосудов брыжейки и желудочно-селезеночной связки (6), почки (4), ветви левой желудочной артерии 1-го порядка (1), ранения желудка (3), поджелудочной железы (3) или же отягощающие ситуацию обстоятельства: двухфазный разрыв селезенки с клиникой геморрагического шока (7), разрыв патологически измененной селезенки (4), внедрение отломка 10-го ребра в селезенку (1). Среди них были 32 мужчины и 10 женщин, средний возраст 29,1±12,2 года, ISS равнялся 36,2±6,6 балла. Летальность в этой группе составила 19% (8 больных). 32 больным наряду с коррекцией имеющихся повреждений органов брюшной полости выполнена спленэктомия, у 11 (26,2%) больных селезенку удалось сохранить.

В процессе анализа выявлено, что у остальных 44 больных из 86 во время выполнения абдоминальной операции диагностированы только незначительные повреждения селезенки (I-II степени). Согласно литературным источникам необходимость выполнения лапаротомии при подобных повреждениях паренхиматозных органов ставится под сомнение [7, 12, 14]. В этой группе были 30 мужчин и 14 женщин, средний возраст больных 27,7±13,1 года, ISS составил 29,7±6,9 балла. У 35 больных селезенка удалена (в том числе у 9 – после попыток ушивания повреждения), у 9 (20,5%) больных ее удалось сохранить. Чаще накладывался гемостатический шов. Летальных исходов в этой группе не было.

У 28 (24,6%) оперированных больных с сочетанной травмой операционной находкой были повреждения селезенки III-V степени и в ряде случаев мно-

жественные повреждения органов живота, поэтому им, безусловно, было необходимо экстренное хирургическое вмешательство. В данную группу вошли 20 мужчин и 8 женщин. Средний возраст больных 27,1±13,3 года, ISS равнялся 36,0±9,6 балла. 26 пострадавшим выполнена спленэктомия, 1 – резекция селезенки и 1 – ушивание раны. Летальность составила 28,6% (умерло 8 больных).

Распределение больных по тяжести состояния при поступлении в традиционной градации и балльной шкале ВПХ-СП представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение пострадавших с сочетанной травмой селезенки по тяжести состояния при поступлении по традиционной градации и шкале ВПХ-СП

Характеристика тяжести состояния при поступлении	Традиционная оценка		Оценка по шкале ВПХ-П	
	абс.	%	абс.	%
Удовлетворительное (до 12 баллов)	2	1,7	0	0
Средней тяжести (13-20 баллов)	23	19,6	11	9,4
Тяжелое (21-31 балл)	67(7)	57,3	62(5)	53,0
Крайне тяжелое (32-45 баллов)	22(9)	18,8	34(8)	29,1
Терминальное (46 баллов и выше)	3(3)	2,6	10(6)	8,5
Всего	117(19)	100	117(19)	100

Примечание. В скобках указано число умерших.

Из табл. 1 видно, что по традиционной оценке 89 (76,1%) пострадавших поступило в стационар в тяжелом (57,3%) или крайне тяжелом (18,8%) состоянии. При оценке по шкале ВПХ-СП пострадавших в крайне тяжелом состоянии было на 12 (10,3%) больше и достигло 34 (29,1%).

Представляло определенный интерес сопоставление тяжести состояния пострадавших при поступлении по балльной шкале ВПХ-СП с тяжестью сочетанной травмы селезенки по шкале ISS. Сравнительное сопоставление средних балльных оценок по шкале ISS и ВПХ-СП у пострадавших, выделенных по тяжести состояния при поступлении, отражено в табл. 2.

Таблица 2

Средние балльные оценки по шкалам ISS и ВПХ-СП в группах пострадавших с сочетанной травмой селезенки в зависимости от тяжести состояния при поступлении

Характеристика тяжести состояния при поступлении	Наблюдения		Средняя балльная оценка	
	абс.	%	по шкале ISS	по шкале ВПХ-СП
Удовлетворительное	0	0	-	-
Средней тяжести	11	9,4	22,7±5,0	18,9±1,1
Тяжелое	62	53,0	30,0±6,6	26,0±2,7
Крайне тяжелое	34	29,1	37,2±8,5	35,6±2,8
Терминальное	10	8,5	50,2±4,9	54,7±5,1
Всего	117	100	$p > 0,05$	$p < 0,05$

Примечание. (p) отражает статистическую достоверность различия средней балльной оценки смежных групп исследованных больных, расположенных по графе.

Из табл. 2 видно, что тяжесть состояния пострадавших при поступлении коррелировала с тяжестью сочетанной травмы: чем значительнее были повреждения – тем тяжелее было состояние пострадавшего.

Анализ клинической характеристики обследованных больных позволяет утверждать, что сочетанная травма селезенки не является редкостью. Она наблюдалась почти у половины всех пациентов с повреждением селезенки, поступивших в стационар. В основном это были пациенты молодого работоспособного возраста (28,0±12,8 года). Тяжесть сочетанной травмы и состояния пострадавших при поступлении, оцененные соответственно по балльным шкалам, довольно высокие. 82,1% пациентов поступили в стационар в тяжелом или крайне тяжелом состоянии (26,0±2,7 и 35,6±2,8 балла по шкале ВПХ-СП). По данным Е.К. Гуманенко и соавт. [5], летальность при таком уровне балльной оценки может достигать 38%. Тяжесть сочетанной травмы у этих больных, оцененная по ISS, составила 30,0±6,6 и 37,2±8,5 балла соответственно тяжести состояния. Такая травма считается второй степени тяжести без угрозы для

жизни на первом этапе. Вероятность летального исхода при таком уровне балльной оценки составляет 25% [15]. В наших наблюдениях из 96 пациентов, поступивших в тяжелом и крайне тяжелом состоянии, умерло 13 (13,5%). Обращает на себя внимание то, что летальные исходы наступили в первые 5 суток с момента травмы, что можно объяснить тяжестью сочетанной травмы, с одной стороны, и ошибками проведения реанимационно-противошоковых мероприятий – с другой.

Прогноз при сочетанной травме живота и других областей во многом зависит от совместных усилий хирургов, травматологов, анестезиологов, реаниматологов, а также врачей других специальностей. Мы акцентировали внимание на хирургической тактике.

Известно, что основным хирургическим противошоковым мероприятием является своевременная остановка внутреннего кровотечения, устранение источника перитонита. Роль других специалистов сводится к коррекции состояния оперативным или консервативным способом, что обеспечивает хорошие условия формирования стабильного сгустка в ране селезенки и устранения факторов, способствующих развитию вторичного шока.

Для оценки хирургической тактики все пациенты были разделены на две группы в зависимости от показаний к лапаротомии. В первую группу вошли 44 пациента, у которых можно было избежать лапаротомии, во вторую – 70 пациентов, которым лапаротомия была выполнена по абсолютным показаниям по поводу тяжелых разрывов селезенки III-V степени и разрывов селезенки I-II степени и повреждений других органов брюшной полости. ISS в данных группах равнялся, соответственно, 29,7±6,9 и 36,1±7,8 балла (p>0,05). Несмотря на то, что разница по тяжести повреждения статистически недостоверна, в первой группе летальных исходов не было, во второй – умерло 16 (22,9%) больных.

Это обстоятельство побудило нас к более глубокому анализу группы с однотипными (I-II степени) повреждениями селезенки. Мы разделили лапаротомии у пациентов с сочетанными повреждениями селезенки I-II степени на две подгруппы: выполненные по относительным и абсолютным показаниям. Выявлено, что из 86 пациентов с минимальными повреждениями селезенки у 44 лапаротомия должна быть расценена как выполненная по относительным показаниям (первая подгруппа), а у 42 – из-за наличия множественных повреждений органов живота, несмотря на незначительные повреждения селезенки, она, безусловно, была выполнена по абсолютным показаниям (вторая подгруппа). В подгруппе лапаротомий, выполненных по относительным показаниям, по сравнению с подгруппой лапаротомий, выполненных по абсолютным показаниям, сочетанная травма, как было показано выше, была более легкой по тяжести (ISS соответственно равнялся 29,7±6,9 и 36,2±6,6 балла; p > 0,05). Однако различие статистически недостоверно. В первой подгруппе летальных исходов не было, во второй они составили – 19,0%. Следует отметить, что при выполнении абдоминальной операции частота органосохраняющего лечения даже незначительных повреждений селезенки (I-II степени) была невысокой и составила по подгруппам 20,5 и 26,2%, соответственно.

Выводы. 1. Значительная распространенность сочетанной травмы селезенки, наряду с высокой летальностью и частым удалением этого важного многофункционального органа, свидетельствует об актуальности затронутой темы. Больные обычно погибают в первые 5 суток после травмы от травматического и геморрагического шока, который может усугубляться неадекватной хирургической тактикой.

2. Балльные шкалы ISS и ВПХ-СП обеспечивают объективную оценку тяжести сочетанной травмы селезенки, позволяют своевременно выявить пациентов,

находящихся в тяжелом состоянии, определить рациональную диагностическую и лечебную тактику.

3. При сочетанной травме селезенки в лапаротомии нуждается более половины (61,4%) пострадавших, среди которых больные с множественной травмой живота составляют 36,8% и с повреждениями селезенки III-V степени (по AAST) – 24,6%. Оперативное вмешательство является важным лечебным мероприятием для пострадавшего с травмой живота. Однако успешно выполненное хирургическое вмешательство на органах брюшной полости не является гарантией излечения больного. На исход лечения оказывают влияние и сопутствующие повреждения других частей тела.

Литература

1. *Абакумов М.М., Лебедев Н.В., Малярчук В.И.* Повреждения живота при сочетанной травме. М.: Медицина, 2005. 175 с.

2. Абдоминальная травма / под ред. А.С. Ермолова, М.Ш. Хубутия, М.М. Абакумова. СПб.: Видар-М, 2010. 504 с.

3. *Багненко С.Ф.* Сочетанная механическая травма. СПб., 2005. 55 с.

4. *Ерюхин И.А., Шляпников С.А.* Экстремальное состояние организма. СПб.: Эскулап, 1997. 304 с.

5. Объективная оценка тяжести травм / *Е.К. Гуманенко, В.В. Бояринцев, Т.Ю. Супрун и др.* СПб.: ВМеДА, 1999. 110 с.

6. Оценка тяжести состояния у пострадавших сочетанными и изолированными повреждениями живота с разрывом селезенки / *А.Ф. Исаев, А.Н. Алимов, Э.П. Сафронов и др.* // Хирургия. 2005. № 9. С. 31-35.

7. Сочетанная травма живота и таза / *М.И. Бокарев, А.Б. Молитвословов, С.В. Сергеев и др.* // Хирургия. 2004. № 10. С. 50-53.

8. *Чикаев В.Ф., Ибрагимов Р.А., Бондарев Ю.В*. Принципы диагностики и лечения пострадавших при сочетанной травме с повреждением паренхиматозных органов брюшной полости // Практическая медицина. Травматология-ортопедия. Хирургия. 2010. № 8.

9. *Шабанов А.К.* Использование объективных методов оценки тяжести повреждений и состояния пострадавших при сочетанной травме: автореф. дис. … канд. мед. наук. М., 2006. 20 с.

10. Management of the most severely injured spleen- A multicenter study of the research consortium of New England centers for trauma (Re CON-ECT) / *G.C. Velmahos, N. Zacharias, T.A. Emhoff et al.* // Arch. Surg. 2010. Vol. 145. P. 456-460.

11. Non operative management of liver and spleen trau-matic injuries: a giant with clay feet / *S. Saverio, E. Moore, G. Tugnoli et al.* // World J. of Emergency Surgery. 2012. Vol. 7, № 3.

12. Nonoperative Management of Blunt Splenic Trauma: Also Feasible and Safe in Centers with Low Trauma Incidence and in the Presence of Esta-blished Risk Factors / *G. Norrman, B. Tingsted, M. Ekelund et al.* // European J. of Trauma and Emergency Surg. 2009. Vol. 35, № 2. P. 102-107.

13. The epidemiology and clinical evaluation of ab-dominal trauma. An analysis of a multidisciplinary trauma registry / *G. Costa, S.M. Tierno, F. Tomassini et al.* // Ann. Ital. Chir. 2010. Vol. 81, № 2. P. 95-102.

14. The evolution of blunt splenic injury: reso-lution and progression / *S.A. Savage, B.L. Zarzaur, L.J. Magnotti et al.* // J. Trauma. 2008. Vol. 64. P. 1085.

15. The Injury Severity Score: a method for describing pa-tients with multiple injuries and evaluating emergency care / *S.P. Baker, O. Neill, B. Haddon et al.* // J. Trauma. 1994. Vol. 14. P. 187-196.

АЛЕКСЕЕВ ВАЛЕРИЙ СЕМЕНОВИЧ – кандидат медицинских наук, заведующий хирургическим отделением, Вторая городская больница, Россия, Чебоксары (xalekseev-xvs@mail.ru).

ALEXEEV VALERIY SEMENOVICH – candidate of medical sciences, supervisor of Surgery Department, City Hospital № 2, Russia, Cheboksary.

КАТАНОВ ЕВГЕНИЙ СТЕПАНОВИЧ – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой общей хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (katanove@mail.ru).

KATANOV EVGENIY STEPANOVICH – doctor of medical sciences, head of General Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.147.22-007.64-089
ББК 56.966.1

Р.Ю. АНДРЕЕВ, Ю.Г. АНДРЕЕВ, А.Н. ВОЛКОВ

ВАРИКОЦЕЛЭКТОМИЯ ИЗ МИНИ-ДОСТУПА

Ключевые слова: *варикоцеле, мини-доступ, ранорасширитель, яичковая вена.*

Предложен метод оперативного лечения варикоцеле с применением мини-доступа. Для его выполнения авторами разработан специальный ранорасширитель. Всего из мини-доступа оперированы 75 больных варикоцеле. Показана эффективность применения мини-доступа в сравнении с классическим доступом при операции Иваниссевича. Мини-доступ с применением ранорасширителя позволяет повысить радикальность варикоцелэктомии, уменьшить послеоперационные боли и получить хороший косметический эффект.

R.Yu. ANDREEV, Yu.G. ANDREEV, A.N. VOLKOV

VARICOCELECTOMY FROM MINI-ACCESS

Key words: *varicocele, mini-access, retractor, testicular vein.*

A method of operative treatment of varicocele with mini-access is proposed. The authors developed a special extension. Everything from mini-access operated by 75 patients with varicocele. The effectiveness of using mini-access in comparison with the classical access during Ivanissevich's operation is showen. According to the research results mini-access with the use of the retractor allows to increase the radicalism of the varicocelectomy, reduce post-operative pain and get a good cosmetic effect.

Варикоцеле встречается у 1-6% мужчин, выявляется с наибольшей частотой в возрасте 14-15 лет и в основном локализовано слева [2, 4, 6, 8]. Актуальность проблемы обусловлена распространенностью заболевания и доказанным его влиянием на сперматогенез [9]. Обратный ток венозной крови по яичковой вене (ЯВ) вызывает застой венозной крови в гроздевидном сплетении (ГС), который ведет к нарушению сперматогенеза в яичке. Операции по поводу варикоцеле являются наиболее частыми в подростковом возрасте. Для ликвидации варикозного расширения вен ГС широко распространена перевязка ЯВ в забрюшинном отделе – операция Иваниссевича. Производится она из косопоперечного или поперечного разреза в левой подвздошной области [3, 5, 7]. Но одним из существенных недостатков этой операции является то, что пациенту наносится значительная операционная травма. Связана она с выполнением доступа в левой подвздошной области, когда производится рассечение тканей передней брюшной стенки на 6,0-7,0 см. На современном этапе развития хирургии одной из приоритетных задач является снижение операционной травмы.

Материалы и методы исследования. Для уменьшения операционной травмы при лечении варикоцеле в хирургическом отделении Ибресинской ЦРБ применяется собственный метод забрюшинной перевязки ЯВ из мини-доступа. Представлены результаты оперативного лечения 195 пациентов с левосторонним варикоцеле II и III степени за период с 1992 по 2012 г. Первую (I) группу составили 75 пациентов, которым выполнена перевязка ЯВ из мини-доступа. Вторая (II) группа состояла из 120 пациентов, которым выполнена операция Иваниссевича поперечным или косопоперечным доступом. Исследуемые группы были сравнимы по возрасту, времени предоперационной подготовки и стадиям заболевания. Возраст пациентов распределился от 13 до 32 лет. Средний возраст в группах исследования составил 16,45±0,28 года в I группе и 16,76±0,17 – во второй ($p > 0,05$). Предоперационный период равнялся 1,03±0,07 дня в I группе и 1,04±0,01 – во второй ($p > 0,05$). В I группе оперированы с варикоцеле II степени 43 (57,34±5,74%) и III степени 32 (42,66±5,74%) больных, а во II группе – 103 (85,84±3,19%) и 17 (14,16±3,19%) пациентов, соответственно. Всем больным проводилось стандартное клиническое обследование.

При статистическом анализе выполнялось традиционное вычисление показателей описательной статистики. В учет брали число наблюдений (*N*), среднее арифметическое число (*M*), среднюю ошибку средней арифметической (*m*), минимальное и максимальное значения изучаемого признака. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием параметрического и непараметрического методов. Статистическую достоверность данных определяли по критерию Стьюдента. Различия между выборками принимались как достоверные при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Больные обеих групп оперированы как под местной новокаиновой анестезией, так и с применением общего обезболивания. В I группе с применением местной новокаиновой инфильтрационной анестезии оперировано 32 (42,67±5,74%) больных, а с использованием общего обезболивания (тотальная внутривенная анестезия) 43 (57,33±5,74%) пациентов. Во II группе 67 (55,84±4,55%) и 53 (44,16±4,55%) больных, соответственно.

В I группе, где применялся мини-доступ, длина кожного разреза составила от 2,0 до 3,5 см – в среднем 2,6±0,04 см, а во II группе от 4,5 до 6,4 см – в среднем 5,25±0,03 см ($p < 0,05$).

Послеоперационный период у больных I группы протекал легче, поскольку уменьшение болей происходило уже к концу первых суток. Применялся анальгетик метамизол натрия с наибольшей кратностью введения от 3 до 5 инъекций. Большинство больных из-за купирования болей в течение первых суток отказывались от дальнейшего обезболивания, а у 12 (16,0±4,26%) пациентов послеоперационное обезболивание вообще не применялось, поскольку болевые ощущения были настолько незначительными, что больные отказались от анальгетиков.

Во II группе в послеоперационном периоде применялись ненаркотические анальгетики кеторолак и метамизол натрия с кратностью введения от 4 до 9 инъекций. Выраженность и продолжительность болей снижало двигательную активность пациентов этой группы на период до 3 сут.

Длительность обезболивания в послеоперационном периоде составила в I группе 26,82±7,2 ч, а во второй – 37,95±1,08 ч ($p < 0,05$).

Средний срок послеоперационного периода составил в I группе 6,85±0,04 дня и 7,01±0,01 – во второй ($p < 0,05$).

Осложнений в виде нагноения послеоперационной раны не было ни в одной из наблюдаемых групп.

Рецидив варикоцеле отмечен во II группе у 12 (10,0±2,75%) больных, а в I группе такого осложнения не отмечено.

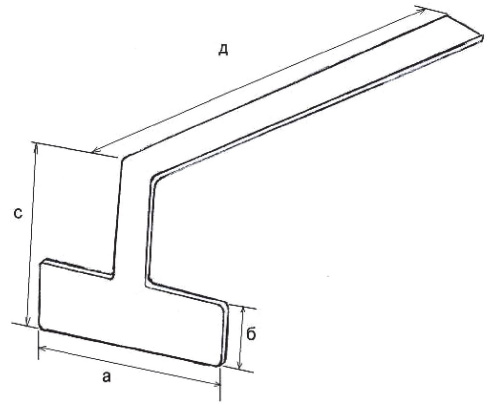
При контрольном осмотре от 3 до 6 месяцев средняя площадь послеоперационного рубца у пациентов I группы составила 0,22±0,01 см^2, а во II группе – 1,05±0,01 см^2 ($p < 0,05$). Пациенты I группы жалоб не предъявляли, послеоперационный рубец у большинства был едва заметный, тонкий, ровный, гладкий и безболезненный. У пациентов II группы, оперированных по методу Иваниссевича, рубец заметно выделялся на передней брюшной стенке, был плотным, связанным с подлежащими тканями, малоподвижным, с видимыми кожными метками от швов. Ряд пациентов отмечали периодические боли в послеоперационном рубце после физических нагрузок.

По итогам оперативного лечения лучшие локальные результаты достигнуты у пациентов I группы, где выполнялся мини-доступ. У них не отмечено ни одного рецидива заболевания. Во II группе при использовании классического доступа Иваниссевича результаты хуже – у 12 (10,0±2,75%) больных отмечен рецидив заболевания.

Во всех случаях причиной рецидива явилось оставление неперевязанными во время операции дополнительных стволов ЯВ. Это вызвано, прежде всего,

трудностью создания операционного пространства в забрюшинной области. Применяемые большинством хирургов крючки Фарабефа не могут создать достаточное рабочее пространство для выделения ЯВ. Описанные в литературе ранорасширители для варикоцелэктомии чаще всего имеют сложную конструкцию, состоят из многих элементов и позволяют изменять только параметры операционной раны. Так, А.Ю. Цуканов (2004) с целью создания достаточного рабочего пространства в забрюшинной области разработал и применил кольцевой ранорасширитель с управляемыми лопатками и эндоподсветкой [6]. При этом выделение и перевязку ЯВ проводил в глубине раны. В.Н. Захаров (2009) использовал ранорасширитель-манипулятор, с помощью которого производил перемещения передней брюшной стенки, приближая операционную рану к ЯВ и стараясь тем самым уменьшить глубину операционной раны при перевязке вены [4].

А при выполнении варикоцелэктомии из мини-доступа по нашей методике ствол ЯВ мобилизуется и выводится непосредственно на поверхность операционной раны, где после осмотра выполняются ее перевязка и высокая резекция по нашей методике [1]. Разработанный нами ранорасширитель для мини-доступа позволяет создать достаточное рабочее пространство в забрюшинной области и способствует выделению ЯВ на поверхность раны (патент на полезную модель № 117082 от 20.06.2012 г.). Он представляет собой Т-образный металлический крючок, имеющий на конце рабочей части поперечно расположенное расширение в виде лопаточки (рисунок).



Ранорасширитель (объяснение в тексте)

Ранорасширитель представлен набором различного размера, выполненных из нержавеющей стали толщиной 3,0-3,5 мм, имеющих следующие параметры: ширину лопаточки (*а*) от 3,0 до 4,0 см, высоту лопаточки (*б*) до 2,0 см, высоту рабочей части (*с*) от 5,0 до 7,0 см, длину ручки (*д*) до 20,0 см.

Применяют ранорасширитель следующим образом. Выполняется разрез кожи длиной 2,0-2,5 см в левой подвздошной области с рассечением фасции Томсона и жировой клетчатки. Рассекается апоневроз наружной косой мышцы живота по ходу ее волокон на длину до 5 см. Тупо разводятся волокна внутренней косой и поперечной мышц живота, вскрывается поперечная фасция. Вводится в забрюшинное пространство Т-образный ранорасширитель. Поперечной лопаточкой ранорасширителя отслаивается, отводится медиально и вверх париетальная брюшина, при этом в забрюшинной области создается рабочее пространство конусовидной формы, обращенное вершиной к ране. Из забрюшинной жировой клетчатки выделяется сосудистый пучок с ЯВ, покрытый собственной фасцией, который отделяется от париетальной брюшины на протяжении 4-5 см. Таким образом, мобилизованные элементы сосудистого пучка выводятся на поверхность раны, где происходят перевязка и резекция ЯВ. Сосудистый пучок погружается обратно в забрюшинное пространство. Ранорасширитель удаляется. Рана ушивается послойно с наложением съемных косметических швов.

Преимущества нашего ранорасширителя заключаются, прежде всего, в простоте конструкции и в том, что он позволяет создать достаточное рабо-

чее пространство для проведения мобилизации сосудистого пучка, выведения его на поверхность раны.

Меньшая операционная травма, наносимая при выполнении варикоцелэктомии из мини-доступа, существенно уменьшила физическое страдание пациентов I группы исследования. Более быстрое восстановление двигательной активности пациентов повысило качество жизни в послеоперационном периоде, что сделало возможным их раннюю выписку на амбулаторное долечивание по сравнению с больными II группы исследования.

Также отмечен значительно лучший косметический эффект у пациентов I группы. По результатам формирования послеоперационного рубца после операции из мини-доступа его площадь оказалась более чем в 4,5 раза меньше, чем у больных II группы, а локальные боли в области рубца беспокоили только пациентов II группы.

Выводы. 1. Применение мини-доступа с использованием специального ранорасширителя повышает радикальность варикоцелэктомии по сравнению с классической операцией Иваниссевича.

2. Меньшая операционная травма при мини-доступе повышает качество жизни пациентов в послеоперационном периоде и позволяет производить более раннюю выписку из стационара.

3. Лучший эстетический эффект на передней брюшной стенке после операции из мини-доступа позволяет широко его использовать у подростков, рост которых не завершен и продолжается.

Литература

1. *Андреев Ю.Г., Волков А.Н., Андреев Р.Ю.* Опыт лечения варикоцеле // Актуальные вопросы неотложной и восстановительной медицины: сб. науч.-практ. работ, посвящ. 80-летию проф. М.И. Гульмана / Красноярский мед. ун-т. Красноярск, 2011. С. 26-28.

2. Возможности хирургической коррекции варикоцеле в условиях центра амбулаторной хирургии / *А.Ю. Кравцов, В.И. Макаров, З.А. Сичинава и др.* // Амбулаторная хирургия. 2012. № 1. С. 55-62.

3. Выбор тактики лечения больных с варикоцеле / *Н.Р. Акрамов, А.А. Ахунзянов, А.Ф. Хамидулин, Ш.К. Тахаутдинов и др.* // Казанский медицинский журнал. 2005. Т. 86, № 3. С. 201-205.

4. *Захаров В.Н.* Технические аспекты прецизионной перевязки яичковой вены из мини-доступа: автореф. дис. … канд. мед. наук. Новосибирск, 2009. 22 с.

5. *Харченко И.В., Чекмарев В.М., Машков А.Е.* Варикоцеле: современное состояние проблемы диагностики и лечения // Детская хирургия. 2005. № 3. С. 50-53.

6. *Цуканов А.Ю.* Перевязка внутренней семенной вены в нижней трети из открытого мини-доступа при варикоцеле // Эндоскопическая хирургия. 2004. № 2. С. 36-41.

7. *Цуман В.Г.* Результаты операций при варикоцеле в возрастном аспекте. Метод профилактики и лечения послеоперационного рецидива // Детская хирургия. 2007. № 1. С. 4-7.

8. Outpatient varicocelectomy performed under local anesthesia / *Ceng-Long Hsu, Pei-Ying Ling, Cheng-Hsing Hsieh, Chii-Jye Wang et al.* // Asian. J. Androl. 2005. Vol. 7, № 4. P. 439-444.

9. *Winters S., Takahashi I., Troen P.* Secretion of testosterone and its delta 4 precursor steroids into spermatic vein blood in men with varicocele-associated infertility // J. Clin. Endocrinol. Metab. 1999. Vol. 84, № 3. P. 997-1001.

АНДРЕЕВ РОМАН ЮРЬЕВИЧ – студент V курса, Московский медико-стоматологический университет, Россия, Москва.

ANDREEV ROMAN YURIEVICH – student, Moscow Medical-Dental University, Russia, Moscow.

АНДРЕЕВ ЮРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ – кандидат медицинских наук, заведующий хирургическим отделением, Ибресинская центральная районная больница, Россия, Ибреси (yuraandree@mail.ru).

ANDREEV YURIY GEORGIEVICH – candidate of medical sciences, head of Surgery Department, Central Regional Hospital of Ibresi, Russia, Ibresi.

ВОЛКОВ АНАТОЛИЙ НИКАНДРОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры факультетской хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

VOLCOV ANATOLIY NIKANDROVICH – doctor of medical sciences, professor of Faculty Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.147.22-007.64-089
ББК 56.966.1

Ю.Г. АНДРЕЕВ, А.Н. ВОЛКОВ, Р.Ю. АНДРЕЕВ

КЛИНИКО-АНАТОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЙ ПЕРЕВЯЗКИ ЯИЧКОВОЙ ВЕНЫ ПРИ ВАРИКОЦЕЛЕ

Ключевые слова: *варикоцеле, высокая перевязка, яичковая вена.*

Предложен метод высокой забрюшинной перевязки яичковой вены при варикоцеле. Он позволяет произвести доступ к яичковой вене в месте слияния ее ветвей в общий ствол. На этом уровне яичковая вена хорошо просматривается, и перевязка ее не вызывает затруднений. Этим достигается профилактика рецидива варикоцеле и других локальных послеоперационных осложнений. Проанализирована эффективность его применения в сравнении с результатами наиболее распространенной операции Иваниссевича. При оперативном лечении 223 больных варикоцеле наилучшие результаты получены с применением метода высокой забрюшинной перевязки яичковой вены. При высокой перевязке яичковой вены не отмечен рецидив варикоцеле. После операции Иваниссевича рецидив варикоцеле развился в 10% случаев.

Yu.G. ANDREEV, A.N. VOLKOV, R.Yu. ANDREEV

THE CLINICAL-ANATOMIC SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF HIGH LIGATION OF TESTICULAR VEIN OF VARICOCELE

Key words: *varicocele, high ligation, testicular vein.*

A method of high ligation retroperitoneal of testicular vein of varicoceleis proposed. It allows you to access testicular vein in place of the merger of its branches in common trunk. At this level testicular vein is well seen and ligation it does not cause any problems. This is achieved by the prevention of the recurrence of varicocele and other local postoperative complications. The effectiveness of its using of comparison with results of widely-spread Ivanissevich's operation is analysed. During the operative treatment of 223 patients with varicocele, the best results were obtained with the use of method of high retroperitoneal ligation testicular vein. At high ligation testicular vein is not marked relapse varicocele. After the operation Ivanissevich's relapse varicocele developed in 10% of cases.

Варикоцеле – заболевание, основным клиническим проявлением которого является варикозное расширение вен гроздевидного сплетения. Встречается преимущественно среди 1-6% мужчин молодого возраста, в подавляющем большинстве, до 97%, наблюдается слева [2-4]. Заболевание проявляется нарушением сперматогенеза, которое наступает у 20-90% больных и является одной из причин наличия инфертильности у мужчин [1, 7, 10]. Среди причин мужского бесплодия на долю варикоцеле приходится до 40% [1-4, 10]. В связи с ростом в настоящее время количества бесплодных пар лечение варикоцеле представляет повышенный интерес.

Материалы и методы исследования. Целью исследования является сравнение эффективности оперативного лечения больных варикоцеле с использованием классической операции Иваниссевича и разработанного нами способа высокой забрюшинной перевязки яичковой вены (ЯВ).

В основу работы положен анализ результатов лечения 223 мужчин с левосторонним варикоцеле, оперированных в хирургическом отделении Ибресинской ЦРБ с 1992 по 2012 г. Больные были разделены на две группы: первую (I) группу составили 103 больных, которым проведена высокая перевязка ЯВ; вторую (II) группу составили 120 пациентов, оперированных по классической методике Иваниссевича. Возраст пациентов распределился от 13 до 34 лет, в среднем составил 16,90±0,38 года в I группе и 16,76±0,17 года – во II ($p > 0,05$). Предоперационный период был также сопоставим и равнялся

1,02±0,08 дня в I группе и 1,04±0,01 – во II ($p > 0,05$). Степень варикоцеле определялась по градации ВОЗ (1993). В I группе оперированы с варикоцеле II степени 53 (51,46±4,9%) и III степени 50 (48,54±4,9%) больных, а во II группе – 103 (85,84±3,19%) и 17 (14,16±3,19%) пациентов, соответственно.

Пациентам проводилось стандартное клиническое обследование, а также ультразвуковое сканирование органов мошонки и почек.

При статистическом анализе выполнялось традиционное вычисление показателей описательной статистики. В учет брали число наблюдений (*N*), среднее арифметическое число (*M*), среднюю ошибку средней арифметической (*m*), минимальное и максимальное значения изучаемого признака. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием параметрического и непараметрического методов. Статистическую достоверность полученных данных определяли по критерию Стьюдента. Различия между выборками принимались как достоверные при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Общее количество перевязанных вен за одну операцию составило в I группе 2,2±0,11, а во II – 2,55±0,07 ($p < 0,05$). Из них вены, идущие стволом, составили 1,34±0,06 на одного больного в I группе и 2,30±0,06 – во II ($p < 0,05$). Перевязка и пересечение ЯВ пациентам I группы произведены в среднем на уровне 9,31±0,09 см от внутреннего пахового кольца, а во II группе – в непосредственной близости от внутреннего пахового кольца на высоте 4,92±0,04 см ($p < 0,05$).

В I группе осложнений со стороны органов мошонки, а также рецидива заболевания не отмечено. А во II группе у 21 (17,5±3,48%) пациента в раннем послеоперационном периоде развился отек левой половины мошонки, который сохранялся при выписке больных из стационара, что потребовало дальнейшего амбулаторного лечения.

Кроме того, в 12 (10,0±2,75%) случаях у больных II группы в раннем послеоперационном периоде отмечен рецидив заболевания. Все они были в последующем прооперированы. На повторных операциях были выделены и перевязаны от одного до двух расширенных ветвей ЯВ. У 7 больных выполнена высокая перевязка ЯВ – исход повторных операций во всех случаях благоприятный. А 3 остальным больным повторно выполнена операция Иваниссевича – у 1 больного вновь развился рецидив варикоцеле. В последующем ему была выполнена высокая перевязка ЯВ, на операции перевязано два расширенных ствола ЯВ, больной выздоровел.

Давно установлено, что прогрессирование варикоцеле ведет к нарушению сперматогенеза в яичке независимо от стадии развития заболевания [4; 7]. Основная задача при оперативном лечении варикоцеле – ликвидация рефлюкса крови по венам с устранением гемодинамических нарушений в яичке.

Широко распространенной является операция Иваниссевича, которая считается патогенетически обоснованной [1, 4-6, 9, 11]. ЯВ перевязывается на расстоянии 3-4 см от внутреннего пахового кольца, где она в основном имеет рассыпной тип строения из-за наличия множества стволов, в количестве 2-3, а иногда и более [8]. Несмотря на очевидную простоту выполнения, существенным недостатком этой операции является высокая вероятность оставления неперевязанной одной из ветвей ЯВ, что в последующем приводит к развитию рецидива варикоцеле, по данным различных авторов, в 9,3-23% случаев [1, 5, 9, 12].

Для предупреждения рецидива варикоцеле нами применяется собственный способ высокой забрюшинной перевязки ЯВ (патент № 2375001 от 10.12.2009 г.). Он позволяет топографически точно произвести доступ к ЯВ в

месте слияния их ветвей в общий ствол, где она хорошо просматривается и ее выделение не вызывает затруднений. Перевязка ЯВ в этом месте практически исключает развитие рецидива заболевания.

Методика операции. Производится разрез кожи и подкожной клетчатки длиной 2,0-3,5 см в поперечном направлении на уровне крыла подвздошной кости. Уровень разреза определяется следующим образом (рис. 1): от середины расстояния между средней линией живота (2) и точки на 2 см выше передневерхней ости крыла левой подвздошной кости (3) производится поперечный разрез кожи и подкожной клетчатки в латеральном направлении (1). При этом уровень доступа (А) будет располагаться на 3-4 см выше и медиальнее по сравнению с доступом (В) при операции Иваниссевича. Рассекается апоневроз наружной косой мышцы живота по ходу ее волокон. Тупо разводятся волокна внутренней косой и поперечных мышц живота. Рассекается листок поперечной фасции живота и вскрывается забрюшинное пространство. Медиально и вверх отслаивается брюшина, где в клетчатке таза на расстоянии 8,0-10,0 см от внутреннего пахового кольца выделяется покрытая собственной фасцией сосудистая связка, состоящая из ЯВ, яичковой артерии и лимфатических протоков (рис. 2). Проводится мобилизация этих элементов от брюшинного листка на участке 4 см, которые затем подтягиваются в рану. Выделяются расширенные ветви ЯВ, обычно в количестве одной или двух, которые перевязываются и пересекаются. Рана ушивается послойно. Края раны кожи ушиваются косметическими швами.

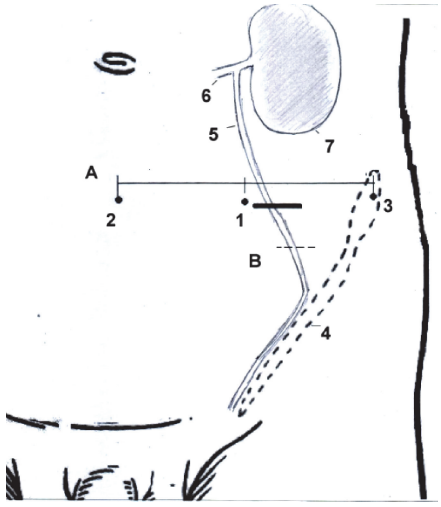


Рис. 1. Схема доступа при перевязке яичковой вены: А – уровень кожного разреза в левой подвздошной области при высокой перевязке яичковой вены (1, 2, 3 – пояснения в тексте); В – уровень кожного разреза в левой подвздошной области при операции Иваниссевича; 4 – подвздошная кость; 5 – яичковая вена; 6 – почечная вена; 7 – левая почка

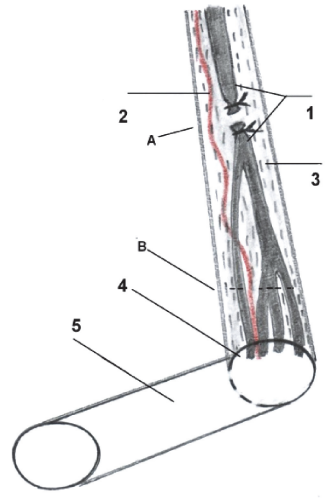


Рис. 2. Схема перевязки яичковой вены: А – уровень пересечения яичковой вены при высокой перевязке; В – уровень пересечения яичковой вены при операции Иваниссевича; 1 – пересечение и перевязка яичковой вены; 2 – яичковая артерия; 3 – лимфатические протоки; 4 – внутреннее паховое кольцо; 5 – паховый канал

По итогам работы видно, что при одинаковых условиях в исследуемых группах лучшие результаты отмечены в I группе больных варикоцеле, которым выполнялась высокая перевязка ЯВ. В этой группе не отмечено ни одно-

го случая развития рецидива заболевания. Использование нового метода позволяет топографически точно произвести доступ к ЯВ на удалении 8,0-10,0 см от внутреннего пахового кольца, где она в основном представлена 1-2 хорошо видимыми стволами. Этим достигается перевязка всех притоков ЯВ, что практически исключает рецидив заболевания и развитие послеоперационных осложнений органов мошонки.

Развитие в 12 (10,0±2,75%) случаях рецидива заболевания после операции Иваниссевича объясняется тем, что остались неперевязанными тонкие венозные стволы ЯВ, сопутствующие основному стволу, трансформировавшиеся в широкие венозные стволы, которые были затем перевязаны при повторных операциях. Отсутствие послеоперационного отека мошонки у больных I группы связано с более бережным отношением к лимфатическим протокам при выделении ЯВ, поскольку на высоком уровне перевязки вены они становятся более заметными и выраженными, меньше травмируются.

Выводы. 1. Выраженность стволов яичковой вены, снижение их количества на высоком уровне ее перевязки увеличивают радикальность операции.

2. Профилактикой послеоперационного отека мошонки является меньшее травмирование лимфатических протоков при выполнении высокой перевязки яичковой вены.

3. Метод высокой забрюшинной перевязки яичковой вены может быть рекомендован для лечения больных с рецидивом варикоцеле после операции Иваниссевича.

Литература

1. *Бавильский В.Ф., Суворов А.В., Иванов А.В.* Выбор метода оперативного лечения варикоцеле // Урология. 2003. № 6. С. 40-43.

2. *Исаков Ю.Ф., Ерохин А.П.* Сравнительная характеристика результатов операций Иваниссевича и Паломо у детей // Урология и нефрология. 1979. № 5. С. 30-34.

3. *Кондаков В.Т., Окулов А.Б., Тандилава Р.З.* Модифицированная методика операции Иваниссевича при варикоцеле у детей // Клиническая хирургия. 1992. № 6. С. 9-12.

4. *Лопаткин Н.А*. Оперативная урология. Л.: Медицина, 1986. 479 с.

5. *Машков А.Е., Наливкин А.Е., Пыхтеев Д.А., Чекмарев В.М., Соболевский А.Б., Харченко И.В.* Хирургия лечения варикоцеле у детей // Андрология и генитальная хирургия. 2009. № 2. С. 142-143.

6. *Муслимов Ш., Богданов А., Дадашев Э.* Варикоцеле: результаты применения разных методов лечения // Врач. 2011. № 11. С. 56.

7. *Наливкин А.Е., Машков А.Е., Пыхтеев Д.А., Чекмарев В.М., Харченко И.В.* Эффективность лечение варикоцеле у детей // Андрология и генитальная хирургия. 2009. № 2. С. 143.

8. *Тараско А.Д., Кошарев К.М., Лихачев А.Г., Берсенев А.Е., Саламанов В.И.* Клиническая анатомия варикоцеле // Амбулаторная хирургия. 2007. № 4. С. 223.

9. *Тарасов Н.И., Бавильский В.Ф., Иванов А.В., Суворов А.В., А.С. Матыгин.* Выбор метода оперативного лечения рецидивов варикоцеле // Урология. 2007. № 6. С. 65-69.

10. *Щеплев П.А., Таневский В.Э.* Сравнение эффективности двух оперативных методов лечения варикоцеле у пациентов с нарушением фертильности // Андрология и генитальная хирургия. 2003. № 1. С. 32-41.

11. *Ivenissevich O*. Left varicocele due to reflux: experience with 4470 operative cases in forty-two years // J. Intern. Coll. Surg. 1960. Vol. 34, № 12. P. 742-755.

12. *Riccabona M., Oswald J., Koen M.* Optimizing the operative treatment of boys with varicocele: sequential comparison of 4 techniques // J. Urol (Baltimore). 2003. Vol. 169, № 2. P. 666-668.

АНДРЕЕВ ЮРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ. См. с. 350.

ВОЛКОВ АНАТОЛИЙ НИКАНДРОВИЧ. См. с. 350.

АНДРЕЕВ РОМАН ЮРЬЕВИЧ. См. с. 350.

УДК 616-008.8:548
ББК Р345.02

А.И. АНДЮШКИН, С.П. САПОЖНИКОВ, А.В. КАРПУНИНА

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ (обзор литературы)

Ключевые слова: *кристаллография, кристаллограмма, биологическая жидкость.*

По данным литературных источников представлены разновидности кристаллографии биологических жидкостей. Описано применение данных методов для диагностики заболеваний в различных областях медицины. Показана высокая чувствительность кристаллографических методов при установлении тяжести заболевания.

A.I. ANDIUSHKIN, S.P. SAPOZHNIKOV, A.V. KARPUNINA

CRYSTALLOGRAPHY OF BIOLOGICAL LIQUIDS (survey of literature)

Key words: *crystallography, crystallogram, biological liquid.*

By the given sources of literature the varieties of cristallography of biological liquids are presented. Application of the given methods for diagnostics of diseases in different spheres of medicine is described. High sensibility of cristallographic methods on determining disease severity is shown.

В последние десятилетия активно развивается новый метод диагностики различных патологических состояний – кристаллография биологических жидкостей. Кристаллография основана на изучении формы, размеров, цвета и других характеристик кристаллов фации биологической жидкости. В настоящее время разработано несколько методов кристаллографии: клиновидной [29], краевой [7], профильной [30] дегидратации; с помощью поляризационной микроскопии [23], в закрытой ячейке [1]. Сущность большинства методов заключается в том, что на поверхность пластины из стекла или другого материала наносится капля биологической жидкости, далее происходит процесс ее постепенного испарения (дегидратация). По мере дегидратации вещества, содержащиеся в жидкости, распределяются и концентрируются по-разному: в центре капли концентрация возрастает медленнее, чем по периферии, из-за разной толщины капли жидкости. Растворенные в биожидкости соли при испарении стремятся к центру, а на периферии капли остаются белки и другие высокомолекулярные вещества. Это связано с тем, что осмотические силы намного сильнее онкотических. В результате медленного испарения биологической жидкости формируется тонкая пленка – фация [29].

Наиболее часто исследуемыми биологическими жидкостями являются кровь [32, 37], слезная жидкость [3, 7, 9, 11], ликвор [15, 24], слюна [35, 36] и др.

В офтальмологии используется метод кристаллографии слезной жидкости, который позволяет дифференцировать больных с патологией слезоотводящей системы [3], глаукоматозной оптической нейропатией [11], онкологическими и воспалительными заболеваниями органа зрения [9]. Используя такие критерии, как количество, формы, площадь пластинчатых структур при дегидратации слезной и внутриглазной жидкости, диагностируют поздние стадии глаукомы [7].

В неврологии наиболее часто исследуемой биологической жидкостью является спинномозговая. Кристаллограммы ликвора позволяют проводить мониторинг при инфекционных (энцефалит, менингит, арахноидит), онкологических заболеваниях нервной системы, при рассеянном склерозе [24], у больных с ишемическим инсультом различной степени тяжести [15]. При дисциркуляторной энцефалопатии выявлены маркеры в кристаллографической картине сыворотки крови [17].

Кристаллография различных компонентов крови нашла применение и при сердечно-сосудистых заболеваниях. Г.Н. Зубеева и соавт. (2001) использовали

данный метод для контроля за лечением аритмологических больных [10]. Установлено, что кристаллизация липидной фракции может применяться как дополнительный маркер атеросклероза [14]. О.Ю. Шрамко и соавт. (2010) отмечено изменение структуропостроения фаций сыворотки крови при остром инфаркте миокарда у больных пожилого возраста [22].

Широкое применение данный метод нашел в пульмонологии. Осуществлен морфометрический анализ кристаллограмм бронхолаважной жидкости больных с острой пневмонией и хроническими обструктивными заболеваниями легких [12]. А.В. Никитиным, А.А. Зуйковой (2001) отмечена возможность оценки эффективности проводимого лечения больных бронхиальной астмой с помощью исследования кристаллических структур конденсата выдыхаемого воздуха и сыворотки крови [21]. Методом клиновидной дегидратации получены и изучены фации плевральной жидкости (экссудата) при метастатическом, туберкулезном плевритах, пневмонии и транссудата при недостаточности кровообращения [2]. Выявлены специфические кристаллограммы слюны и крови больных с термоингаляционной травмой [33].

В акушерстве и гинекологии также используется кристаллографическое исследование различных биологических жидкостей. Фации цервикальной слизи позволили дифференцировать воспалительные и дисгормональные заболевания шейки матки и влагалища [4]. Н.В. Хрулева, Ю.П. Потехина (2009) фации фолликулярной жидкости женщин с бесплодием используют как критерий эффективности лечение перед экстракорпоральным оплодотворением [28]. Отмечена возможность изучения фаций околоплодных вод, сыворотки крови, мочи в динамике с целью предупреждения осложнений при беременности [8].

Фации биологических жидкостей успешно используются для дополнительной диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы, желчного пузыря. Фации желудочного секрета позволяют выявлять хроническую абдоминальную ишемию и различные заболевания ЖКТ (дуодено-гастральный рефлюкс, эзофагит, гастрит, эрозии и язвы различных отделов и др.) [31]. В.Г. Фирсовой и соавт. (2010, 2012) отмечена возможность исследования фаций плазмы крови для выявления тяжести острого панкреатита [13, 27]. Установлена диагностическая значимость исследования фаций желчи при калькулезном холецистите [25]. Выявлены изменения кристаллографической картины крови, мочи, слюны больных с язвенными процессами желудочно-кишечного тракта в результате проведения озонотерапии [34].

Метод кристаллографии биологических жидкостей нашел применение и в педиатрии. Кристаллография носового секрета имеет специфическую картину при заболеваниях ЛОР-органов [5]. С помощью кристаллографического (тезиграфического) метода установлена возможность ранней диагностики острого лимфобластного лейкоза и его прогнозирования [6]. Для контроля эффективности естественного и искусственного видов вскармливания рекомендована кристаллография слезной жидкости [16].

В настоящее время предложено определение биокристалломики как науки, изучающей кристаллизацию биообъектов [19, 20]. По мнению авторов, в биокристалломике возможно несколько направлений: кристаллопатология, кристаллодиагностика, кристаллотерапия и т.д. Впервые использовано понятие «кристаллостаз». Разработана концепция кристаллостаза и кристаллопатологии организма. Авторы разделяют кристаллопатологию на три вида: гипокристаллогенез, гиперкристаллогенез и дизкристаллогенез. При дизкристаллогенезе происходит замещение одних биокристаллов на другие, например размягчение эмали зуба из-за замещения ионов кальция ионами магния [26].

Важным событием в биокристалломике явилось описание феномена микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза (инициируемое микробами кристаллобразование неорганических солей). Осуществлен сравнительный анализ кристаллогенных свойств кишечной палочки (Escherichia coli) и золотистого стафилококка (Staphylococcus aureus). По расположению кристаллических образований выделено три вида микроорганизм-ассоциированного кристаллогенеза: экстрацеллюлярный, примембранный, интрацеллюлярный [18].

Выводы. 1. Кристаллография различных биологических жидкостей может быть применена в качестве одного из дополнительных методов обследования больных с заболеваниями дыхательной, пищеварительной, мочевыделительной и других систем, а также для оценки эффективности лечения той или иной патологии.

2. Данный метод позволяет выявлять неспецифические воспалительные, эндокринные, онкологические и инфекционные заболевания, а также травмы различной локализации.

3. Методы кристаллографии при их низкой трудоемкости и дешевизне являются незаменимыми в условиях «полевой» медицины.

Литература

1. *Антропова И.П., Габинский Я.Л.* Кристаллизация биожидкости в закрытой ячейке на примере слюны // Клиническая лабораторная диагностика. 1997. № 8. С. 36-38.

2. *Борсуков А.В., Пискунова И.А.* Возможности использования метода клиновидной дегидратации в дифференциальной диагностике транссудата и экссудата при плевральном выпоте неясного генеза // Материалы I Национального конгресса терапевтов. М.: Бионика, 2006. С. 28-29.

3. Возможности применения метода кристаллографии слезы при патологии слезоотводящей системы / *В.Г. Белоглазов, Е.Л. Аткова, А.А. Федоров и др.* // Вестник офтальмологии. 2003. № 4. С. 49-52.

4. *Вознесенская Н.В., Кожемятова И.В., Албутова М.Л.* Актуальность изучения морфологии цервикальной слизи у женщин с патологией шейки матки // Мать и дитя: материалы III регион. науч. форума. М.: МЕДИ-Экспо, 2009. С. 54-55.

5. *Волков А.Г., Добытко И.В.* Кристаллография носового секрета у детей // Российская оториноларингология. 2008. №4(35). С.61-65.

6. *Воробьев А.В., Ворбьева В.А., Нештакова Н.Л., Воробьева И.Г.* Тезиграфическая диагностика острого лимфобластного лейкоза у детей // Нижегородский медицинский журнал. 2002. № 2. С. 61-64.

7. *Деев Л.А., Шатохина С.Н., Шабалин В.Н.* Диагностическая и прогностическая ценность пластинчатых структур биологических жидкостей у больных с поздними стадиями первичной глаукомы // Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения. М.: Медсервис, 2001. С. 100-102.

8. Диагностическое значение структур биологических жидкостей в динамическом контроле за течением беременности / *Т.В. Кузнецова, М.Л. Албутова, С.Н. Шатохина и др.* // Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения. М.: Медсервис, 2001. С. 49-51.

9. Значение методов клиновидной и краевой дегидратации слезной жидкости в онкоофтальмологии */ Назарова Л.О., Шатохина С.Н., Прокофьева Г.Л. и др. //* Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения. М.: Медсервис, 2001. С.102-103.

10. *Зубеева Г.Н., Мотылев И.Н., Потехина Ю.П., Белова Л.М.* Кристаллографический скрининг-метод в диагностике и лечении больных с мерцательной аритмией // Клиническая лабораторная диагностика. 2001. № 9. С. 10.

11. Исследование слезной жидкости в прогнозировании течения глаукоматозной оптической нейропатии / *Н.И. Курышева, Н.Д. Нагорнова, М.Н. Колединцев и др.* // Клиническая геронтология. 2003. № 9. С. 91.

12. *Катыхина Ю.И., Кондрахина А.П., Даниленко С.А., Афанасьева Ю.И.* Морфологическая характеристика кристаллических свойств бронхоальвеолярного лаважа // Студент и научно-технический прогресс: материалы XLIX Междунар. науч. студ. конф / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: Медицина, 2011. С. 70-72.

13. Клиническая кристаллография в оценке тяжести течения острого панкреатита / *В.Г. Фирсова, В.В. Паршиков, В.П. Градусов и др.* // Новое в хирургической гепатологии: тез. докл. XVII Междунар. конгресса хирургов-гепатологов стран СНГ «Актуальные проблемы хирургической гепатологии» (Уфа. 15-17 сентября 2010 г.) / Ассоциация хирургов-гепатологов. Уфа, 2010. С. 126-127.

14. Кристаллогенные свойства липидной фракции сыворотки крови здоровых и больных ишемической болезнью сердца / *С.С. Барац, Р.И. Минц, В.С. Веселова и др.* // Кардиология. 1992. Т. 32, № 3. С. 34-37.

15. Кристаллографическое исследование цереброспинальной жидкости у больных с ишемическим инсультом / *Н.Н. Волосникова, Г.Г. Музлаев, Л.В. Савина и др.* // Журнал неврологии и психиатрии. Прил. Инсульт. 2003. № 9. С. 145.

16. *Легонькова Т.И., Цыганкова Е.В., Земляницына И.С., Степина Т.Г.* Диагностическое значение кристаллических структур биологических жидкостей в клинике детских болезней // Клиническая биохимия: единство фундаментальной науки и лабораторной диагностики: материалы регион. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию д.м.н., проф. П.Н. Шараева / Ижевская гос. мед. академия. Ижевск, 2010. С. 116-117.

17. *Мандрыгина Е.Л., Шатохина С.Н., Шабалин В.Н., Гусев Е.И.* Морфологические особенности фаций сыворотки крови у больных с дисциркуляторной энцефалопатией // Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения М.: Медсервис, 2001. С. 38-39.

18. *Мартусевич А.К., Симонова Ж.Г.* Биокристаллоскопические методы в изучении кристаллогенных свойств микроорганизмов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(3). С. 68-72.

19. *Мартусевич А.К., Симонова Ж.Г.* Механизмы и нанотехнологические аспекты дегидратационной структуризации жидких сред организма в диагностической биокристалломике // Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем (крестовские чтения): тез. докл. V регион. конф. молодых ученых. Иваново: Иваново, 2010. С. 92.

20. *Мартусевич А.К., Эмануэль В.Л.* Биокристалломика: предпосылки, сущность, перспективы // Клинико-лабораторный консилиум. 2011. № 4(40). С. 66-70.

21. *Никитин А.В., Зуйкова А.А.* Клиническая эффективность ингаляций супероксида и их влияние на кристаллическую структуру и систему антирадикальной защиты сыворотки крови и конденсата выдыхаемого воздуха у больных бронхиальной астмой // Терапевтический архив. 2001. № 3. С. 20-23.

22. Особенности морфологической картины сыворотки крови у больных пожилого возраста с острым инфарктом миокарда / *О.Ю. Шрамко, В.В. Громов, А.О. Гаврилов и др.* // Аспирантский вестник Поволжья. 2010. № 3-4. С. 240-242.

23. Поляризационная микроскопия в диагностике обменных нарушений / *Л.В. Савина, С.А. Павлищук, В.Ю. Самсыгин и др.* // Клиническая лабораторная диагностика. 2003. № 3. С. 11-13.

24. Применение кристалломорфологического метода при диагностике некоторых заболеваний нервной системы / *Ю.М. Смирнов, Л.А. Курбатова, Н.В. Павлова и др.* // Вестник ТвГУ. 2010. Сер. Физика. Вып. 9. С. 25-30.

25. Структура и вязкость желчи в диагностике калькулезного холецистита / *Ю.П. Потехина, А.В. Страхов, П.С. Зубеев и др.* // Морфология биологических жидкостей в диагностике и контроле эффективности лечения. М.: Медсервис, 2001. С. 86-88.

26. Физиология и патология кристаллостаза: общая парадигма и перспективы изучения / *А.К. Мартусевич, А.В. Воробьев, А.А. Гришина и др.* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 1. С. 135-139.

27. *Фирсова В.Г., Паршиков В.В., Потехина Ю.П.* Особенности морфологических изменений твердой фазы биологических жидкостей при деструктивном панкреатите // Анналы хирургической гепатологии. 2012. Т. 17, № 1. С. 79.

28. *Хрулева Н.В., Потехина Ю.П.* Исследование морфологической картины фолликулярной жидкости // Аспирантский вестник Поволжья. 2009. № 7-8. С. 191-194.

29. *Шабалин В.Н., Шатохина С.Н.* Морфология биологических жидкостей человека. М.: Хризостом, 2001. 303 с.

30. *Шатохина С.Н., Шабалин В.Н.* Профильная дегидратация биологических жидкостей // Клиническая лабораторная диагностика. 1999. № 9. С. 38.

31. *Юдин В.А., Мостыка С.В.* Кристаллография желудочного секрета при эндоскопическом обследовании верхних отделов желудочно-кишечного тракта [Электронный ресурс] // Bulletin of the International Scientific Surgical Association. 2006. Vol. 1, № 2. URL: http://www.berendey.spb.ru/bissa/bissa200602.pdf.

32. Brutin David, Sobec Benjamin, Nicloux Celine. Influence of substrate nature on the evaporation of a sessile drop of blood // Trans. ASME. J. Heat Transfer. 2012. Vol. 134, № 6.

33. Martusevich A.K., Vorobyov A.V., Grishina A.A., Peretyagin S.P. Biological fluids crystallization at thermoinhalation trauma // Programm Abstracts. Internationaler medicinicher congress. Euromedica. Hannover, 2009. P. 59-60.

34. Ozonotherapy of the gastrointestinal tract stressinjuries at urgency patients and biocrystalloscopic monitoring of its effectiveness / Peretyagin S.P., Vorobyov A.V., Martusevich A,K. and others // Revista Ozonoterapia. Review. 2008. Vol. 1, № 1. P. 24-28.

35. *Pohodenko-Chudakova I.O., Sakadynetz A.O.* Resalts of acupuncture in complex therapy for patients with acquired detects of ower jaw on the oral fluid microcrystallization findings // Inzynieria bio-

materialow (Engineering of biomaterials). Czasopismo Polskiego Stowarzyszenia Biomaterialow. 2007. Rok. X, № 63-64. P. 11-12.

36. *Rotta L., Matechova E., Cerny M., Pelak Z.* Determination of the fertile period during the menstrual cycle in women by monitoring changes in crystallization of saliva with the PC.2000 IMPCON minimicroscope // Cesk. Gynekol. 1992. Vol. 57, № 7. P. 340-522.

37. *Shabalin V.N., Shatochina S.N., Yakovlev S.A.* Character of blood crystallization as an integral index of organism homeostasis // Phys. Chem. Biol. Med. 1995. Vol. 2, № 1. P. 6-9.

АНДЮШКИН АДОЛЬФ ИЗОСИМОВИЧ – клинический ординатор, ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

ANDIUSHKIN ADOLPH IZOSIMOVICH – clinical ordinator, assistant of Therapeutic Stomatology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

САПОЖНИКОВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской биологии с курсом микробиологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (adaptagon@mail.ru).

SAPOZHNIKOV SERGEY PAVLOVICH – doctor of medical sciences, professor, head of Medical Biology Chair with Microbiology course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КАРПУНИНА АНТОНИНА ВЯЧЕСЛАВОВНА – кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой терапевтической стоматологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KARPUNINA ANTONINA VIACHESLAVOVNA – candidate of medical sciences, assistant professor, head of Therapeutic Stomatology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 577.175.824:616.329-089+577.217:616.329-089
ББК Р457.345.6

О.В. АРСЮТОВ, В.П. АРСЮТОВ

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ В ТКАНЯХ ГИСТАМИНА И ДНК НА ЗАЖИВЛЕНИЕ ПИЩЕВОДНО-КИШЕЧНОГО СОУСТЬЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Ключевые слова: *гистамин, ДНК, пищеводно-кишечное соустье.*

В опытах на 30 беспородных собаках изучены изменения уровня гистамина, ДНК в тканях пищеводно-кишечного анастомоза на 1-,3-,5-,7-,9-,14-е сутки после гастрэктомии и влияние содержания гистамина и ДНК на заживление соустья. Установлено, что заживление пищеводно-кишечного анастомоза происходит на фоне повышения содержания в тканях гистамина и значительного снижения содержания ДНК в ядрах клеток зоны соустья и на фоне выраженного воспалительно-некротического процесса, значительного угнетения репаративно-регенеративных процессов.

O.V. ARSYUTOV, V.P. ARSYUTOV

THE INFLUENCE OF CHANGES IN HISTAMINE AND DNA CONTENT IN TISSUES ON ESOPHAGEAL-INTESTINAL ANASTOMOSIS HEALING IN THE EXPERIMENT

Key words: *histamine, DNA, esophageal-intestinal anastomosis healing.*

In experiments in 30 nonpedigree dogs the dynamics of changes in histamine and DNA content in tissues of esophageal-intestinal anastomosis and their influence on the healing character of anastomosis on the 1st, 3rd, 5th, 7th 9th and 14th after gastrectomy were studied. It is established that esophageal-intestinal anastomosis healing takes place on the background of significant histamine increase in tissues and DNA content decrease in the nuclei of anastomosis cells. On the background of a pronounced inflammatory process, the decrease of regeneration and reparative processes and reduction of anastomosis' biological and physical hermeticity, the conditions for the development of sutures on esophageal-intestinal anastomosis healing failure are created.

Единственным средством реальной помощи больным раком желудка является хирургическое вмешательство – широкое иссечение пораженных отделов желудка или всего желудка единым блоком с зонами регионального лимфатического метастазирования при строгом соблюдении принципов абластики. Среди хирургических вмешательств по поводу рака наиболее тяжелой и травматичной является тотальная гастрэктомия, которая отмечается высокой летальностью и

большим числом осложнений. Одной из основных причин неблагоприятных послеоперационных исходов и осложнений продолжает оставаться несостоятельность швов пищеводных соустий [4-6].Поэтому углубленное изучение причин развития несостоятельности швов соустий после гастрэктомии является важнейшей задачей современной экспериментальной и клинической хирургии.

Цель исследования – изучение динамики изменений содержания в тканях гистамина и ДНК и их влияния на характер заживления пищеводно-кишечного анастомоза на различных сроках послеоперационного периода.

Материалы и методы исследования. Экспериментальные исследования выполнены на 30 беспородных собаках массой 10-15 кг. Под внутривенным тиопенталовым наркозом подопытным животным производили тотальную гастрэктомию с формированием пищеводно-кишечного анастомоза с межкишечным соустьем по Брауну. Для оценки состояния пищеводного анастомоза подопытные животные выводились из эксперимента на 1-, 3-, 5-, 7-, 9-, 14-е сутки после операции. Содержание ДНК в ядрах клеток зоны анастомоза определяли по методу В.А. Колесникова (1979). За норму принимали интенсивность люминесценции ДНК в ядрах клеток слизистой пищевода до наложения соустья. Уровень гистамина в тканях пищеводно-кишечного соустья определяли люминесцентно-гистохимическим методом Кросса, Эвана, Роста. За норму принимали интенсивность люминесценции гистамина в стенке пищевода до наложения анастомоза [1, 2]. Статистическая обработка полученных цифровых данных проведена с помощью пакета программ Microsoft Office (Excel) на компьютере. В работе приводятся следующие показатели: M – средняя арифметическая величина; m – средняя ошибка средней арифметической величины. Статистическую достоверность определяли критерием Стьюдента (t). Различия считали достоверными при $p < 0,05$ [3].

Для определения морфологии заживления препараты пищеводно-кишечного анастомоза после фиксации в 10%-ном нейтральном формалине окрашивались по методу Ван-Гизона и гематоксилин-эозином.

Результаты исследования и их обсуждение. При морфологическом исследовании зоны пищеводно-кишечного соустья наибольшие воспалительно-некротические изменения были обнаружены в первые 5 суток после операции. Уже через 1 сутки после гастрэктомии в зоне соустья выявлялись значительный дефект слизистой, некроз подслизистого и части мышечного слоев. Зона соустья была инфильтрирована лейкоцитами.

Спустя 3 суток дефект слизистой увеличен в размерах, дно его заполнено толстым слоем гнойно-некротических масс. Дном дефекта в большинстве случаев являлся мышечный слой, в котором определялось множество тромбированных сосудов. В прилежащих тканях имели место выраженный отек и инфильтрация нейтрофилами. Эти изменения наблюдались и в мышечном слое пищеводно-кишечного анастомоза. Спустя 5 суток после гастрэктомии в зоне соустья дефект в слизистой оболочке сохранялся, отмечалось выраженное гнойно-некротическое воспаление, охватывающее циркулярно почти всю зону анастомоза. На фоне этих изменений можно было наблюдать появление незначительного количества вновь образованных сосудов.

Спустя 7 суток после гастрэктомии у подопытных животных в зоне пищеводно-кишечного анастомоза сохранялось выраженное гнойно-некротическое воспаление, распространяющееся до мышечного слоя. Продолжали сохраняться отек и инфильтрация тканей соустья нейтрофилами. Дефект слизистой на этих сроках наблюдения несколько уменьшался в размерах. Отмечались рост грануляционной ткани и пролиферация кишечного эпителия. Дном дефекта служил мышечный слой с большим количеством вновь образованных сосудов.

Спустя 9 суток дефект слизистой в зоне анастомоза сохранялся и был заполнен тонким слоем гнойно-некротических масс. По краям дефекта слизистой обнаруживались пролиферация многослойного плоского и кишечного эпителия, множество вновь образованных мелких сосудов различного диаметра. Отек и инфильтрация нейтрофилами в зоне пищеводно-кишечного анастомоза сохранялись и достигали мышечного слоя.

Спустя 14 дней после гастрэктомии у подопытных собак в зоне пищеводно-кишечного соустья определялся дефект слизистой в виде узкой полоски шириной 2-3 мм и менее, заполненный гнойно-некротическими массами, под которыми удавалось обнаружить разрастание грануляционной ткани. На этих сроках исследования сохранялась слабо выраженная инфильтрация тканей зоны соустья нейтрофилами. Наряду с этим отмечалась выраженная пролиферация пищеводного и кишечного эпителия (рис. 1).

Используя метод окраски препаратов по Ван-Гизону, мы выявили, что начиная с 5-х суток после операции отмечается пролиферация коллагеновых волокон, сопровождающаяся утолщением подслизистого слоя. Спустя 14 суток в зоне соустья имеет место диффузное разрастание коллагеновых волокон, в большинстве случаев грубых и утолщенных. При этом коллагеновые волокна в виде прослоек и муфт удается обнаружить в слизистом и подслизистом слое, а также вокруг мышечных волокон и сосудов (рис. 2).

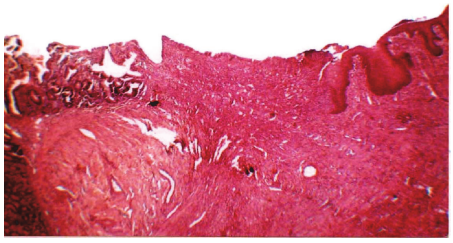


Рис. 1. Пищеводно-кишечное соустье спустя 14 дней после гастрэктомии. Окраска гематоксилин-эозином. Объектив 10*. Гомаль 1,7

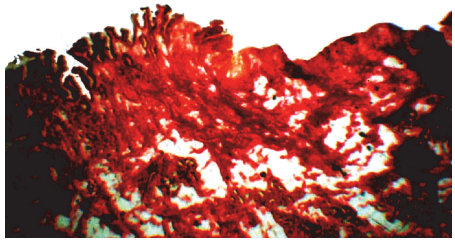


Рис. 2. Пищеводно-кишечное соустье спустя 14 дней после гастрэктомии. Окраска по Ван-Гизону. Объектив 10*. Гомаль 1,7

Динамика изменений уровня гистамина и ДНК, полученная при люминесцентном анализе тканей зоны пищеводно-кишечного анастомоза, приведена в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Содержание гистамина в тканях пищеводно-кишечного анастомоза на различных сроках после гастрэктомии, условные единицы (УЕ)

Показатель	Исход	Сроки исследований, сут.					
		1-е	3-и	5-е	7-е	9-е	14-е
Гистамин ($M \pm m$)	72,9±0,70	130,8±1,37	174,7±0,74	189,3±1,62	119,9±0,99	104,4±1,64	91,5±1,44

Примечание. $p < 0{,}001$ (вероятность различия рассчитана по отношению к исходному значению).

Таблица 2

Содержание ДНК в ядрах клеток пищеводно-кишечного анастомоза на различных сроках после операции, УЕ

Показатель	Исход	Сроки исследований, сут.					
		1-е	3-и	5-е	7-е	9-е	14-е
ДНК ($M \pm m$)	78,6±1,21	83,4±1,50*	90,9±1,07**	86,4±0,86**	88,6±1,30**	70,7±0,78**	72,3±1,06**

Примечание. Вероятность различия рассчитана по отношению к исходному значению: * – $p < 0{,}02$, ** $p < 0{,}001$.

К концу 1-х суток после гастрэктомии (табл. 1) отмечается увеличение содержания гистамина в зоне пищеводно-кишечного анастомоза по сравнению с исходным значением почти в 2 раза, которое составляет в среднем 130,8±1,37 УЕ ($p < 0,001$). Максимальное повышение уровня гистамина в зоне соустья отмечается на 3-5-е сутки после операции. Среднее значение данного биоамина на 5-е сутки наблюдения в тканях анастомоза достигало 189,3±1,62 УЕ ($p < 0,001$). Начиная с 7-х суток после гастрэктомии содержание гистамина в тканях соустья постепенно уменьшается, хотя и на 14-е сутки послеоперационного периода продолжает достоверно превышать исходное значение, составляя 91,5±1,44 УЕ ($p < 0,001$).

У подопытных животных содержание ДНК (табл. 2) в ядрах клеток тканей пищеводно-кишечного анастомоза спустя 1 сутки после операции незначительно увеличивается, составляя 83,4±1,50 УЕ ($p < 0,02$).

Спустя 5 суток этот показатель равен 86,4±0,86 УЕ ($p < 0,001$), и к 9-м суткам после гастрэктомии отмечается резкое снижение содержания ДНК в ядрах клеток пищеводно-кишечного соустья, оно составлет 70,7±0,78 УЕ ($p < 0,001$). Полученные данные исследования свидетельствуют, что снижение ДНК в ядрах клеток тормозит, по-видимому, развитие репаративно-регенераторных процессов в зоне анастомоза.

Анализ полученных результатов исследования свидетельствует о том, что наиболее выраженные воспалительно-некротические изменения в зоне пищеводно-кишечного анастомоза наблюдаются на 3-5-е сутки после гастрэктомии. На этих же сроках отмечается значительное повышение содержания гистамина в тканях соустья. При этом удается выявить определенную зависимость между концентрацией гистамина в тканях пищеводно-кишечного анастомоза, степенью развития местного гнойно-некротического воспалительного процесса, а также параметрами физической и биологической герметичности пищеводно-кишечного анастомоза. После тотальной гастрэктомии в течение 7-9 дней в тканях пищеводно-кишечного соустья снижается содержание ДНК в ядрах клеток, что является одним из важных факторов торможения репаративных и регенераторных процессов.

Выводы. 1. На фоне выраженного воспалительного процесса, уменьшения репаративно-регенераторных процессов и снижения биологической и физической герметичности соустий создаются условия для развития несостоятельности швов пищеводно-кишечных анастомозов.

2. Заживление пищеводно-кишечного анастомоза, наложенного традиционным двухрядным швом Альберта–Шмидена, происходит на фоне выраженного воспалительно-некротического процесса, значительного угнетения репаративно-регенераторных процессов, уменьшения параметров биологической и механической герметичности соустья. Это приводит к тому, что заживление пищеводно-кишечного анастомоза в большинстве случаев протекает по типу вторичного натяжения с формированием в дальнейшем (к 14-м суткам после операции) грубого рубца в зоне анастомоза.

Литература

1. *Арсютов В.П., Арсютов О.В.* Лазерная и магнитно-лазерная терапия в профилактике релапаротомий. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. 188 с.

2. *Арсютов В.П., Черкесов Л.И., Арсютов О.В.* Активность ксантиноксидазы у больных с острыми хирургическими заболеваниями органов брюшной полости при магнитно-лазерной терапии. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. 80 с.

3. *Гланц С.А.* Медико-биологическая статистика: пер. с англ. М.: Практика, 1999. 500 с.

4. *Поликарпов С.А., Лисицкий А.Н., Горюнов И.В.* Выбор метода наложения пищеводно-кишечного анастомоза после гастрэктомии // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2008. № 9. С. 56-60.

5. *Чарышкин А.Л, Гудошников В.Ю.* Ближайшие результаты гастрэктомии по поводу рака желудка // Актуальные вопросы хирургии, травматологии и интенсивной терапии: материалы

межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рожд. Н.И. Атясова. Саранск: Прогресс, 2011. С. 136-137.

6. *Andreollo N.A., Lopes L.R., Coeho N.J.* Postoperative complications after total gastrectomy in the gastric cancer. Analis of 300 patients // ABCD-Arg. Cir. Dig. 2011. Vol. 24, № 2. P. 126-130.

АРСЮТОВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oleg.ars21@rambler.ru).

ARSUTOV OLEG VLADIMIROVICH – candidate of medical sciences, associate professor of Hospital Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АРСЮТОВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ArsVladP@yandex.ru).

ARSYUTOV VLADIMIR PETROVICH – doctor of medical sciences, head of Faculty Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 577.17:616.381-089.168.1-06
ББК Р457.465.1-387

О.В. АРСЮТОВ, В.П. АРСЮТОВ

РОЛЬ ГИСТАМИНА, СЕРОТОНИНА, КАТЕХОЛАМИНОВ, ГЕПАРИНА, КСАНТИНОКСИДАЗЫ В ЗАЖИВЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕННОЙ ВО ВРЕМЯ ОПЕРАЦИИ БРЮШИНЫ

Ключевые слова: *гистамин, серотонин, катехоламины, гепарин, ксантиноксидаза, заживление поврежденной брюшины.*

В опытах на 32 морских свинках изучены динамика изменений содержания в тканях гистамина, серотонина, катехоламинов, гепарина, ксантиноксидазы и их влияние на характер заживления поврежденной во время операции брюшины на 1-, 3-, 5-, 7-, 9-, 14-е сутки послеоперационного периода. Установлено, что наиболее выраженные воспалительно-некротические изменения в поврежденной брюшине происходят на 3-5-е сутки послеоперационного периода. На этих же сроках отмечается максимальное повышение в тканях поврежденной брюшины активности ксантиноксидазы, гистамина, серотонина, катехоламинов с преобладанием серотонинового влияния и минимальное содержание в них гепарина.

O.V. ARSYUTOV, V.P. ARSYUTOV
THE ROLE OF HISTAMINE, SEROTONIN, CATECHOLAMINES, HEPARIN, AND XANTHINE OXIDASE IN HEALING OF PERITONEUM DAMAGED DURING A SURGERY

Key words: *histamine, serotonin, catecholamines, heparin, xanthine oxidase, healing of adamaged peritoneum.*

In experiment son 32 guinea pigs the dynamics of changes in the content of histamine, serotonin, catecholamines,, heparin, xanthine oxidase in tissues was studied as well as their influence on the healing character of peritoneum damaged during a surgery on the 1st, 3rd, 5th, 7th, 9th and 14th of postoperational period. It is established that the most pronounced inflammatory-necrotizing changes in the damaged peritoneum take place on the 3rd-5th day of the post-operational period. It is during this period that in damaged peritoneal tissues the maximum increase in the activity of xanthine oxidase, histamine, serotonin and catecholamines is noted with the prevalence of serotonin influence and with minimal heparin content in these tissues.

За последние десятилетия в связи с ростом количества и объема хирургических вмешательств на органах брюшной полости отмечается быстрый рост числа пациентов спаечной кишечной непроходимостью. Несмотря на большое количество предложенных методов, направленных на предупреждение возникновения спаечной болезни и спаечной кишечной непроходимости в послеоперационном периоде, эта проблема далека от своего разрешения. Результаты лечения больных с острой спаечной кишечной непроходимостью не могут удовлетворить клиницистов. Послеоперационная летальность при

острой спаечной кишечной непроходимости остается высокой, составляя 11-34,8% [1, 3, 5, 6]. Поэтому углубленное изучение причин развития и формирования внутрибрюшинных сращений и спаек является важнейшей задачей современной экспериментальной и клинической хирургии.

Цель исследования – изучение динамики изменений содержания в тканях гистамина, серотонина, катехоламинов, гепарина, ксантиноксидазы (КО) и их влияния на характер заживления поврежденной во время операции брюшины.

Материалы и методы исследования. Проведены опыты на 32 морских свинках (самцы) массой 600-800 г. Экспериментальным животным под масочным эфирным наркозом производили лапаротомию и скарификацию брюшины толстой кишки щеткой на одном и том же участке на протяжении 8-10 см до появления мелкоточечных кровоизлияний и липкого кровянисто-фибринозного налета. Поврежденную кишку орошали 70%-ным этиловым спиртом. Для оценки состояния поврежденной висцеральной брюшины подопытные животные выводились из эксперимента на 1-, 3-, 5-, 7-, 9-, 14-е сутки после операции. Две морские свинки умерли на 5-е сутки после операции от развившейся острой спаечной кишечной непроходимости. Содержание гистамина в тканях брюшины определяли люминесцентно-гистохимическим методом Кросса, Эвана, Роста (1971). Содержание серотонина и катехоламинов в тканях определяли методом Фалька и Хилларпа в модификации Е.М. Крохиной (1969). Уровень гепарина в тканях определяли методом Энербека (1974). Активность ксантиноксидазы (КО) в тканях определяли по методике И.Г. Бондаренко и В.А. Симоновой (1988) [1, 2]. Статистическая обработка полученных цифровых данных проведена с помощью пакета программ Microsoft office (Excel) на компьютере. В работе приводятся следующие показатели: *M* – средняя арифметическая величина; *m* – средняя ошибка средней арифметической величины. Статистическую достоверность определяли критерием Стьюдента (*t*). Различия считали достоверными при $p < 0,05$[4].

Для определения морфологии заживления поврежденной во время операции брюшины препараты поврежденной толстой кишки после фиксации в 10%-ном нейтральном формалине окрашивались по Ван-Гизону и гематоксилин-эозином.

Результаты исследования и их обсуждение. Содержание гистамина в тканях поврежденной брюшины к концу 1-х суток после операции увеличивается по сравнению с исходным значением более чем в 2 раза, составляя 50,5±0,48 УЕ ($p < 0,001$). Максимальное повышение уровня гистамина в тканях поврежденной брюшины отмечается на 3-и сутки послеоперационного периода и составляет 70,9±1,21 УЕ. Начиная с 5-х суток послеоперационного периода содержание гистамина в тканях поврежденной во время операции брюшины постепенно уменьшается, хотя и на 14-е сутки достоверно превышает исходное значение, составляя 28,8±0,56 УЕ.

Концентрация серотонина и катехоламинов в тканях поврежденной брюшины увеличивается с 1-х суток, достигая максимальных значений к 3-м суткам после операции и составляя, соответственно, 15,9±0,74 УЕ ($p < 0,001$) и 26,4±0,85 УЕ ($p < 0,001$). С 5-х суток послеоперационного периода содержание серотонина и катехоламинов в тканях поврежденной висцеральной брюшины постепенно уменьшаются, однако и на 14-е сутки эти показатели достоверно превышают исходные значения, составляя, соответственно, 6,1±0,27 УЕ и 12,2±0,43 УЕ. При определении соотношения катехоламинов и серотонина установлено преобладание серотонинового влияния на ткани поврежденной висцеральной брюшины, и лишь спустя 2 недели этот показатель приближается к исходному значению.

Содержание гепарина в поврежденной брюшине, наоборот, уменьшается с 1-х суток послеоперационного периода, достигая минимальных значений к концу 3-х суток после повреждения, составляя 22,5±0,61 УЕ ($p < 0,001$). С 5-х суток после операции отмечается постепенное увеличение содержания гепарина в тканях поврежденной брюшины, однако и на 14-е сутки этот показатель достоверно ниже исходного значения и составляет 31,3±0,37 УЕ.

Активность КО в тканях поврежденной брюшины увеличивается с 1-х суток, достигая максимальных значений к 3-м суткам послеоперационного периода, составляя на этих сроках исследования 0,195±0,007 УЕ ($p < 0,001$). С 5-х суток активность КО в тканях поврежденной брюшины постепенно уменьшается, хотя и на 14-е сутки достоверно превышает исходное значение, составляя 0,138±0,005 УЕ.

Подопытные животные, как выведенные из эксперимента, так и умершие, подвергались аутопсии. При этом основное внимание уделялось наличию в брюшной полости спаек, инфильтратов, абсцессов и состоянию поврежденной во время операции брюшины толстой кишки. Из 32 подопытных животных две морские свинки умерли на 5-е сутки после операции. На аутопсии у них установлена острая спаечная кишечная непроходимость с развитием разлитого фибринозно-гнойного перитонита. При аутопсии остальных морских свинок, выведенных из эксперимента на 1-, 3-, 5-, 7-, 9-, 14-е сутки послеоперационного периода, получены следующие результаты. Через 1 сутки после операции в брюшной полости подопытных животных отмечено незначительное количество серозно-геморрагического выпота. Толстая кишка была раздута, поврежденный участок кишки гиперемирован, покрыт местами фибрином. У части животных определялось прилипание к поврежденному участку сальника и петель тонкой кишки.

На 3-и сутки послеоперационного периода в брюшной полости у всех экспериментальных животных содержалось небольшое количество геморрагического выпота. Толстая кишка была раздута, стенки утолщены, к зоне повреждения припаяны петли тонкой кишки и сальник почти на всем протяжении. У некоторых морских свинок отмечено формирование «двустволок» петель кишки за счет рыхлых спаек. Спустя 5 суток после операции в брюшной полости геморрагический выпот определялся только у некоторых морских свинок. Толстая кишка у всех подопытных животных оставалась раздутой, увеличенной в размерах. К зоне повреждения толстой кишки были припаяны петли тонкой кишки, сальник с образованием в ряде случаев конгломерата. В ряде случаев установлено сложение толстой кишки в зоне повреждения в виде «двустволки» за счет спаек. Стенка кишки воспалена, плотная и покрыта фибрином.

Через 7 суток после повреждения у животных выпот в брюшной полости практически отсутствовал. У большинства морских свинок в зоне повреждения определялся инфильтрат, образованный толстой кишкой, петлями тонкой кишки и сальником. У 2 подопытных животных при выделении толстой кишки из инфильтрата вскрылся межкишечный абсцесс с густым гноем в небольшом количестве. Стенка кишки в зоне повреждения инфильтрирована, местами утолщена.

Спустя 9 суток после хирургического вмешательства практически у всех морских свинок в зоне поврежденной кишки отмечено наличие конгломератов и инфильтратов. В 2 случаях установлено наличие микроабсцессов в инфильтрате. Стенка кишки в зоне повреждения была представлена грануляционной тканью, инфильтрирована, отечна с наличием практически у всех животных «двустволок» за счет спаечного процесса в зоне повреждения с частичным нарушением проходимости, из-за чего толстая кишка была у всех животных раздута, увеличена в диаметре.



Рис. 1. Поврежденная толстая кишка спустя 14 суток после операции. Макропрепарат

На 14-е сутки послеоперационного периода в брюшной полости подопытных животных выпот отсутствовал. К зоне повреждения были припаяны сальник и петли тонкой кишки, у ряда морских свинок отмечалось формирование тяжей и «двустволки», конгломератов с частичным нарушением проходимости. Стенка кишки в зоне повреждения оставалась плотной, утолщенной, без признаков воспаления (рис. 1).

При морфологическом исследовании зоны поврежденной серозной оболочки толстой кишки наибольшие воспалительно-некротические изменения нами были обнаружены в первые 5 суток послеоперационного периода. Через 1 сутки после операции в месте повреждения серозная оболочка отсутствовала, глубина повреждения достигала 2/3 толщины мышечного слоя. Дефект был заполнен фибрином, некротическими массами, лейкоцитами с преобладанием нейтрофилов, часть из которых была представлена гнойными тельцами. Контуры клеток мышечного слоя смазаны, цитоплазма базофильная, ядра нечеткие. В межмышечных пространствах установлена обильная инфильтрация нейтрофилами. Было отмечено резкое полнокровие подслизистого слоя с большим количеством клеток белой крови с преобладанием гранулоцитов. Отмечалась периваскулярная лейкоцитарная инфильтрация тканей. Спустя 3-е суток после повреждения язвенный дефект распространялся до подслизистого слоя и был заполнен некротическими массами, фибрином, со значительной примесью эритроцитов в гнойном экссудате. Подслизистый слой утолщен, отмечались полнокровие сосудов и выраженная инфильтрация подлежащих тканей лейкоцитами с преобладанием нейтрофилов.

На 5-е сутки послеоперационного периода сохранялся дефект в зоне повреждения кишки до подслизистого слоя, который был практически очищен от некротических масс. Дно дефекта представлено толстым слоем грануляционной ткани. Отмечалась клеточная инфильтрация прилежащих тканей с преобладанием нейтрофилов над макрофагами, где также определялись эритроциты. На фоне этих изменений установлено появление незначительного количества вновь образованных сосудов в толще грануляционной ткани. Преимущественно периваскулярно отмечены очень крупные фибробласты, волокна практически отсутствовали. Спустя 7 суток в зоне повреждения сохранялся очищенный от некротических масс дефект до подслизистого слоя. Дно дефекта было представлено толстым слоем грануляционной ткани с небольшим количеством вновь образованных сосудов. Продолжали сохраняться отек и инфильтрация тканей зоны повреждения нейтрофилами.

Через 9 суток после операции отмечено отсутствие мышечного слоя в зоне повреждения, дефект был заполнен грануляционной тканью с большим количеством вновь образованных сосудов, соотношение гранулоцитов и макрофагов в которой составляло примерно 1:1. Фибробласты имели различную форму, были ориентированы беспорядочно. В воспалительной инфильтрации окружающих тканей преобладали макрофаги, также определялись нейтрофилы и эритроциты. Отмечалось наползание мезотелия на грануляционную ткань.

На 14-е сутки послеоперационного периода дефект в зоне повреждения был полностью покрыт мезотелием. Вместе с тем мышечный слой отсутствовал, вместо него была выявлена оформленная грубоволокнистая соединительная ткань,

представленная зрелыми фибробластами и пучками коллагеновых волокон (рис. 2).

Используя метод окраски препаратов поврежденной во время операции висцеральной брюшины толстой кишки по Ван-Гизону, мы установили, что начиная с 5-х суток послеоперационного периода отмечается пролиферация фибробластов и коллагеновых волокон. И спустя 14 суток после операции в зоне повреждения выявлена рубцовая ткань, представленная грубыми коллагеновыми волокнами и единичными фибробластами, замещающими мышечный слой (рис. 3).

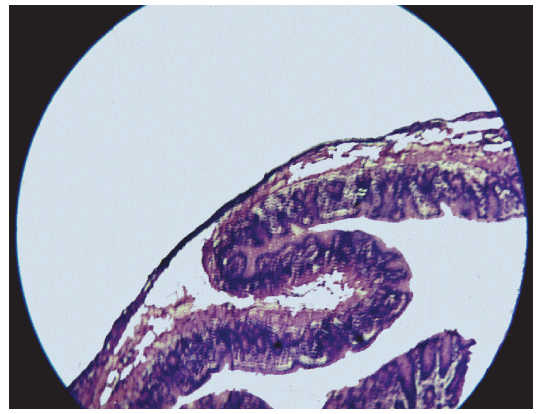


Рис. 2. Серозная оболочка толстой кишки через 14 суток после операции. Окраска гематоксилин-эозином. Объектив 10*. Гомаль 1,7

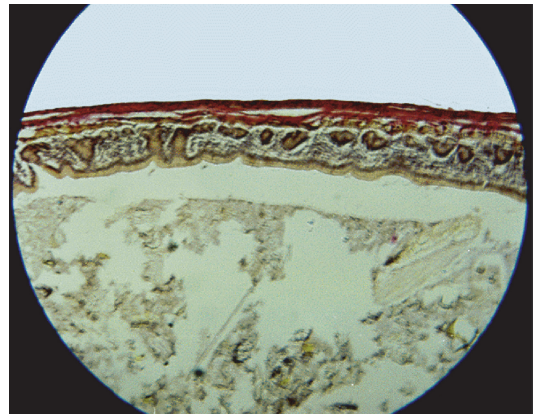


Рис. 3. Серозная оболочка толстой кишки через 14 суток после операции. Окраска по Ван-Гизону. Объектив 10*. Гомаль 1,7

Анализ полученных результатов экспериментального исследования свидетельствует, что наиболее выраженные воспалительно-некротические изменения в поврежденной висцеральной брюшине происходят на 3-5-е сутки послеоперационного периода. На этих же сроках отмечаются максимальное повышение в тканях поврежденной брюшины активности КО, гистамина, серотонина, катехоламинов с преобладанием серотонинового влияния и минимальное содержание в тканях гепарина, что, несомненно, способствует усилению и затягиванию воспалительно-некротических процессов в поврежденных тканях.

Выводы. 1. Длительное увеличение содержания в тканях исследуемых биоаминов, КО и уменьшение содержания гепарина способствуют усилению и затягиванию воспалительно-некротических, уменьшению репаративно-регенераторных процессов, возникновению тромботических процессов и нарушению микроциркуляции, возможно, нарушению иммунного статуса в них и заживлению поврежденной во время операции брюшины по типу вторичного натяжения с формированием грубого рубца в месте повреждения и инфильтратов, конгломератов, абсцессов, «двустволок» петель тонкой кишки, спаек и тяжей в брюшной полости.

2. Полученные в ходе экспериментального исследования результаты убедительно демонстрируют значимость пуринового обмена, в частности КО во взаимосвязи с активностью гистамина, серотонина, катехоламинов и гепарина, в заживлении поврежденной во время операции брюшины и его определяющую роль в патогенезе развития внутрибрюшинных сращений в послеоперационном периоде.

Литература

1. *Арсютов В.П., Арсютов О.В.* Лазерная и магнитно-лазерная терапия в профилактике релапаротомий. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. 188 с.
2. *Арсютов В.П., Черкесов Л.И., Арсютов О.В.* Активность ксантиноксидазы у больных с острыми хирургическими заболеваниями органов брюшной полости при магнитно-лазерной терапии. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. 80 с.
3. *Бондарев Г.А.* Острая кишечная непроходимость в Курской области за 35 лет // Методы современной диагностики и лечения острой кишечной непроходимости: материалы науч.-практ. конф. хирургов Республики Карелия и Северо-Западного фед. округа России / Минзравсоцразвития Республики Карелия; Петрозаводский гос. ун-т; Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. проф. И.И. Джанелидзе; Карельский науч.-мед. центр СЗО РАМН. Петрозаводск, 2011. С. 61-64.
4. *Гланц С.А.* Медико-биологическая статистика: пер. с англ. М.: Практика, 1999. 500 с.
5. Современные взгляды на проблемы лечения острой кишечной непроходимости / *В.Е. Милюков, Е.Н. Долгов, Д.Н. Телепанов и др.* // Методы современной диагностики и лечения острой кишечной непроходимости: материалы науч.-практ. конф. хирургов Республики Карелия и Северо-Западного фед. округа России / Минзравсоцразвития Республики Карелия; Петрозаводский гос. ун-т; Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. проф. И.И. Джанелидзе; Карельский науч.-мед. центр СЗО РАМН. Петрозаводск. 2011. С.80-83.
6. *Trew G.* Consensus in adhesion reduction management // Obstet Gynaecol. 2004. № 6. P. 2.

АРСЮТОВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ. См. с. 363.

АРСЮТОВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ. См. с. 363.

УДК 612.438:612.8 (075.8)
ББК Р457.344.5

И.Л. АРТЕМЬЕВА, В.Е. СЕРГЕЕВА

СОМАТОСТАТИН-ПОЗИТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ ТИМУСА

Ключевые слова: *нейропептид, соматостатин (Som), тимус.*

Изучено распределение Som-позитивных структур в тимусе. Установлено, что Som-позитивные структуры выявляются во всех зонах долек тимуса. Результаты исследования демонстрируют наличие тесного сотрудничества между нейропептидной и иммунокомпетентной системами.

I.L. ARTEMEVA, V.E. SERGEEVA

THE SOMATOSTATIN-POSITIVE STRUCTURES OF THE THYMUS

Key words: *neuropeptid, somatostatin (Som), thymus.*

The spread of Som-positive structures in thymus has been studied. Som-positive structures are identified in all areas of the lobules of the thymus. Investigation results demonstrate the presence of close cooperation between neuropeptide and immunocompetent systems.

В центральном органе иммунитета – тимусе – вырабатываются либо экспрессируются рецепторы практически для всех известных нейромедиаторов и нейропептидов [1, 3]. Все эти данные свидетельствуют о тесных функциональных связях иммунной и нервной систем. В обеспечении этих взаимодействий важная роль отводится нейропептидам. На сегодняшний день известно, что нейропептиды продуцируются разнообразными клетками организма и представлены практически во всех органах. Нейропептиды тимуса выполняют роль регуляторов разнообразных физиологических процессов, обеспечивая созревание тимоцитов и функционирование различных популяций иммунокомпетентных клеток, тем самым демонстрируя активное участие в нейроиммунных взаимодействиях [6, 7]. Ранее нами были изучены распределение и морфофункциональные особенности нейропептид субстанция Р-, вазоактивный интестинальный пептид-, нейропептид Y-содержащих структур тимуса крыс [2]. Установлено, что нейропептиды активно участвуют в процессе пролиферации и дифференцировки развивающихся тимоцитов, функционировании тучных клеток, макрофагов, дендритных клеток тимуса. С учетом отсутствия в научной литературе четкой информации о соматостатин-экспрессирующих структурах тимуса

крыс при физиологических условиях **целью нашего исследования** стало изучение морфологических особенностей и распределения структур тимуса крыс, содержащих нейропептид соматостатин (Som).

Материалы и методы исследования. Эксперименты выполнены на 20 половозрелых самцах белых беспородных крыс линии Вистар в возрасте 2-3 месяца массой 150 г, содержавшихся в стандартных условиях вивария при сбалансированном рационе питания. Все процедуры в работе с крысами осуществляли согласно нормам и правилам обращения с лабораторными животными. Срезы ткани тимуса толщиной 15 мкм обрабатывались непрямым иммунофлуоресцентным методом. Блок неспецифического связывания проводился преинкубацией срезов с 10%-ной козьей сывороткой и 0,05%-ным тритоном X-100 [4]. В качестве первичных антител были использованы анти-соматостатины (1:500; Rabbit anti-Somatostatin; Chemicon International). Для визуализации соматостатин-позитивных структур были использованы меченные флуорохромом вторичные антитела Alexa Fluor 568 (1:1000; goat anti rabbit IgG; Invitrogen). Микроскопию препаратов проводили с помощью флуоресцентного микроскопа Olympus, снабженного дигитальной камерой и набором светофильтров. Анализ изображений был сделан с помощью программы Adobe Photoshop CS2.

Результаты исследования и их обсуждение. Распределение соматостатин-позитивных структур в тимусных дольках имеет диффузный характер. Морфологически они характеризуются округлой или овальной формой, реже имеют вытянутые или угловато-неправильные контуры и обладают разной степенью выраженности иммуногистохимической реакции к соматостатину. Возможно, данные структуры представляют собой лишь гранулярные скопления нейропептида внутри цитоплазмы и цитомембраны клеток тимуса. Количественный анализ показал преобладание соматостатин-позитивных структур в кортикомедуллярной зоне и в корковом веществе тимусных долек. В мозговом веществе эти структуры были единичны.

В нашей работе впервые представлено наличие соматостатин-позитивных структур в тимусе крыс. Эти результаты дополняют и расширяют данные других авторов, исследовавших распределение функциональных рецепторов соматостатина на поверхности тимических эпителиальных клеток, макрофагов, зрелых и незрелых тимоцитах человека [5], мышей, птиц, цыплят и лягушек [6]. Известно, что нейропептид соматостатин усиливает пролиферацию тимических эпителиальных клеток, способствует созреванию тимоцитов и их миграции, а также выработке ими цитокинов. Соматостатин, как и большинство нейропептидов, усиливает выработку тимулина, действуя преимущественно на фазу освобождения синтезированного продукта [8]. Специфическое преобладание соматостатин-позитивных структур в кортикомедуллярной и корковых зонах тимуса, по-видимому, отражает функциональную значимость нейропептида в физиологических процессах этих регионов тимуса.

Вывод. 1. Соматостатин-позитивные структуры выявляются во всех зонах долек тимуса с преобладанием в кортикомедуллярной зоне и корковом веществе.

2. Преимущественное распределение рецепторов к самотостатину в этих зонах тимуса может свидетельствовать о важности соматостатина в морфофизиологических процессах, происходящих в дольках вилочковой железы.

Литература

1. *Кветной И.М., Ярилин А.А., Полякова В.О., Князькин И.В.* Нейроиммуноэндокринология тимуса. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2005. 160 с.

2. *Сарилова И.Л., Сергеева В.Е., Смородченко А.Т.* Эффект тестэктомии на структуры вилочковой железы, экспрессирующие главный комплекс гистосовместимости II класса // Бюл. эксперим. биол. и мед. 2008. № 1. С. 103-105.

3. *Mignini F., Strecciono V.* Autonomic innervations of immune organs and neuroimmune modulation // Pharmacology. 2003. № 23. P.1-25.

4. *Moll U.M.* Functional histology of the neuroendocrine thymus // Microsc. Res. Tech. 1997. № 38. P. 300-310.

5. Quantitative and functional expression of somatostatin receptor subtypes in human thymocytes / *D. Ferone, R. Pivonello, P.M. Hagen van et al.* // Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 2002. Vol. 283. P. 1056-1066.

6. *Silva A.B.* Evolutionary conservation of neuropeptide expression in the thymus of different species // Immunol. 2006. № 118. P.131-140.

7. *Silva A.B., Aw D., Palmer D.B.* Functional analysis of neuropeptides in avian thymocyte development // J. Immunol. 2008. № 32. P. 410-420.

8. *Solomou K., Ritter M.A., Palmer D.B.* Somatostatin is expressed in the murine thymus and enhances thymocyte development // Eur. J. Immunol. 2002. Vol. 32. P. 1550-1559.

АРТЕМЬЕВА ИРИНА ЛЕОНИДОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (a-irina-l@mail.ru).

ARTEMYEVA IRINA LEONIDOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Medical Biology Chair with the Microbiology and Virology Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СЕРГЕЕВА ВАЛЕНТИНА ЕФРЕМОВНА – доктор биологических наук, профессор кафедры медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (valentina-sergeeva@yandex.ru).

SERGEEVA VALENTINA EFREMOVNA – doctor of biological sciences, professor of Medical Biology Chair with the Microbiology and Virology Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.728-46-001-089
ББК 54.58

А.Г. БАИНДУРАШВИЛИ, С.В. СЕРГЕЕВ, А.Г. ПЕТРОВ, С.А. НИКОЛАЕВ

КЛИНИКО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ РАССЕКАЮЩЕГО ОСТЕОХОНДРИТА КОЛЕННОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ

Ключевые слова: *коленный сустав, рассекающий остеохондрит коленного сустава, клиника, инструментальные методы исследования.*

Изложены результаты клинического и инструментальных методов диагностики рассекающего остеохондрита коленного сустава у детей. Показано, что кроме жалоб и объективных проявлений заболевания зачастую выявляются изменения при стабилометрии, реовазографии и электромиографии, которые, как правило, усугубляются при прогрессировании заболевания.

A.G. BAINDURASHVILI, S.V. SERGEEV, A.G. PETROV, S.A. NIKOLAEV

CLINICAL PRESENTATION TOOL OSTEOCHONDRITIS DISSECANS KNEE IN CHILDREN

Key words: *knee, osteochondritis dissecans of the knee, clinic, instrumental methods of diagnosis.*

The article presents the results of clinical and instrumental methods of diagnosis osteochondritis dissecans of the knee in children. It is shown that in addition complaints and objective manifestations of the disease is often detected changes in stabilometry, rheovasography and electromyography, which is usually compounded with the progression of the disease.

Рассекающий остеохондрит коленного сустава (РОКС) – ограниченный асептический некроз субхондральной кости мыщелков бедра (болезнь Кёнига) и надколенника (болезнь Левена) – встречается с частотой 15-21 случай на 100 000 населения [12, 13] и составляет около 1% от всех заболеваний коленного сустава [2].

К причинам, способствующим возникновению РОКС, относят: локальный ишемический некроз субхондральной кости, повторные микротравмы сустава, нарушение процесса энхондральной оссификации, наследственную предрасположенность и эндокринные расстройства [1, 5, 7, 11].

Диагноз устанавливается на основании жалоб, клинических данных, результатов рентгенографии, рентгеновской компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии, артроскопического и ультразвукового исследования коленных суставов. Часто находят изменения при электромиографическом исследовании, реовазографии нижних конечностей и определении общего центра масс тела [2].

Клиника заболевания на начальных этапах крайне скудная: нерезкие боли без четкой локализации, периодические обострения синовита. Наиболее частые жалобы на боли и болезненность по передней поверхности колена при его функционировании. Подобные симптомы характерны и для других заболеваний, сопровождающихся болями в переднем отделе коленного сустава. Часто выявляется положительный симптом Вильсона: усиление боли при медленном разгибании ноги и внутренней ротации [14].

При стабильных повреждениях, как правило, выпот в суставе, крепитации, боль при движениях в коленном суставе отсутствуют. Выпот, уменьшение объема движений и атрофия четырехглавой мышцы бедра разной степени выраженности зависят от тяжести и продолжительности заболевания [10].

Механические симптомы более характерны при нестабильных поражениях. Обычно обнаруживаются антальгическая походка, выпот в коленном суставе, возможны крепитации, связанные с движением [4]. При осмотре следует обследовать оба коленных сустава, так как двусторонний процесс встречается в 20-25% случаев [10].

Стандартные рентгенограммы коленного сустава в переднезадней и боковой проекциях позволяют уточнить локализацию поражения и оценить состояние зон роста. Дополнительные проекции, такие, как аксилярная и туннельная, полезны при подозрении на локализацию процесса в дистальных отделах медиального мыщелка бедренной кости и поражении надколенника, соответственно.

МРТ-исследование стало обычной частью диагностики рассекающего остеохондрита коленного сустава [9]. МРТ применяется чаще для оценки размера повреждения, состояния хряща и субхондральной кости, а также для выявления возможного наличия свободных тел или другой патологии коленного сустава. Есть сведения о наличии определенных сдвигов у детей с РОКС при проведении реовазографии и электромиографии. Однако в последние годы этому заболеванию уделяется недостаточно внимания, остаются неизученными вопросы клинических и инструментальных проявлений при этом заболевании.

Цель исследования – изучить частоту клинических симптомов и некоторых инструментальных показателей у детей с РОКС.

Материалы и методы исследования. В работе использованы клинический, рентгенологический, биомеханический, элекромиографический, реовазографический. ультрасонографический методы исследования.

Исследуя жалобы пациента, большое внимание уделяли уточнению локализации, характеру, выраженности и динамики болей в коленном суставе. Выясняли наличие в анамнезе нарушения функции сустава, отечности, выпота, крепитации, ограничений движений, блокад и нестабильности сустава, степень двигательной активности, необходимость в дополнительной опоре при ходьбе.

Осмотр проводился статически и динамически как в положении лежа пациентов на спине, так и в положении стоя. Оценивали ось конечности, наличие варусной или вальгусной деформации коленного сустава, форму сустава, расположение надколенника, выраженность рельефа мышц бедра и голени, наличие мышечной гипотрофии. Выявляли объем пассивных и активных движений, амплитуду движений при походке, возможность полного и неполного приседания. Амплитуду движений измеряли с помощью угломера. Полученные результаты сравнивали с данными здоровой конечности.

При проверке тестов особое внимание уделяли тесту Вильсона, который был выявлен у 5 пациентов (16,1%) с ранними стадиями заболевания.

Метод магнитно-резонансной томографии коленного сустава как один из ведущих методов предоперационной диагностики стадийности заболевания, распространенности процесса, глубины поражения и возможной картины объема предстоящих оперативных вмешательств проводился у 25 пациентов. Также получены результаты серии протоколов изображений T1 SE (TSE), T2 TSE, GRE в сагиттальной, фронтальной и горизонтальной проекциях на магнитно-резонансном томографе.

Электромиографическое исследование (ЭМГ) проводили с целью оценки состояния нервно-мышечного аппарата пораженных сегментов конечностей посредством накожной ЭМГ на двухканальном электромиографе «ЭМГСТ-01» с регистрацией данных на ТМТ-120. Отведение биопотенциалов осуществляли поверхностными биполярными накожными электродами с размерами 1,0×2,0 см и межэлектродным расстоянием 1,5 см. Электрическую активность мышц конечностей до и после оперативного лечения регистрировали в покое в микровольтах (мкВ).

Продольная реовазография (РВГ) проведена на двухканальном реоплетизмографе РПГ2-02 с регистрацией результатов на «Bioscript-BST-1» и анализаторе КМ-АР-01 «Диамант». Анализировали следующие показатели, характеризующие состояние периферической гемодинамики: ПТС (%) – показатель тонуса крупных сосудов (*N* – 11-17%); ДКИа (%) – диастолический артериальный индекс, характеризующий тонус артериол (N – 40-70%); ДСИа (%) – дикротический артериальный индекс, характеризующий тонус венул и вен (N – < 80%); Vq 100 (мл/мин) – объемный кровоток, определяющий количество крови, поступающее в 100 $см^3$ ткани за 1 мин.

Стабилометрическое исследование (определение центра тяжести) проводили при открытых и закрытых глазах пациента в течение 51 с с помощью компьютерного программно-аппаратного комплекса «МБН-БИОМЕХАНИКА» (НМФ «МБН», Москва).

Ультрасонографическое исследование проводили с целью оценки структуры и плотности хрящевой, костной ткани и пораженного сустава на установке «Aloka-flexus SSD-1100». Применяли ультрасонографический сканер с частотой 3,5-5,0 МГц, сочетающий остаточную глубину проникновения (6-12 см) с высокой разрешающей способностью.

Статистический анализ проводили в программе STATISTICA 6.0 в среде Windows. Вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку ($M \pm m$), коэффициент линейной корреляции по Спирману (r). О различиях между группами по количественным данным судили по U-критерию Манна–Уитни ($p_{m\text{-}u}$), качественным данным – по критерию χ^2 ($p_{\chi 2}$). О силе связи данных между качественными данными судили по коэффициенту ассоциации Юла (КА). Различия считали значимыми при вероятности ошибки (p) менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. При объективном исследовании групп больных с РОКС выявлены следующие признаки: припухлость, болезненность при пальпации в проекции коленного сустава, ограничение сгибания голени. Опрос больных выявил наличие следующих жалоб: припухлость (выпот) в коленном суставе в 67,8%, ограничение объема движений в вышеуказанном суставе движений 37,2%. Частота жалоб была меньше на ранних стадиях заболевания (табл. 1).

Анализ показал наличие статистически значимой связи высоких стадий РОКС с наличием припухлости (КА = +0,34, $p < 0,05$) и ограничением движений в суставах (КА = +0,53, $p < 0,05$).

Анализ движений и состояния центра тяжести проведен 20 пациентам основных групп. Смещение центра тяжести выявлено у 19 пациентов из 20 (95%), в 33,3% при I-II стадиях и в 100% случаев – при III-IV стадиях РОКС.

На основании ЭМГ-исследования выявлены снижение электрогенеза мышц, окружающих коленный сустав, в 83,3% случаев при I-II стадиях и в 100% – при III-IV стадиях РОКС, редукция структуры – в 67,5% и 85,7%, гиперсинхронная структура ЭМГ – в 38,1% и 28,6% случаев, соответственно.

Как следствие, электромиографическая активность всех мышц с пораженной стороны была ниже, чем на непораженной (табл. 2).

Реографическое исследование не выявило существенных различий в показателях объемного кровотока мышц бедер и голеней пораженной и непораженной конечностей (табл. 3).

При проведении реовазографии нижних конечностей выявлено снижение пульсового кровотока в 66,7% случаев при I-II стадиях и в 100% – при III-IV стадиях РОКС.

По данным УЗ-исследования коленных суставов обнаружен выпот в коленном суставе в 33,3% случаев при I-II стадиях и 45,5% – при III-IV стадиях РОКС, неровность контуров и неоднородность структуры суставного хряща коленного сустава в 45,5% случаев при I-II стадиях и в 66,7% – при III-IV стадиях РОКС, наличие костно-хрящевого дефекта, захватывающего субхондральный слой кости, в 50% случаев при II стадии и в 66,7% – при III-IV стадиях РОКС.

Таблица 1

Результаты объективного обследования коленного сустава у детей с РОКС

Показатель	Стадии		*P*
	I-II (*n* = 31)	III-IV (*n* = 28)	
Припухлость колена при осмотре	54,8% (17)	82,1% (23)	0,025
Болезненность медиального мыщелка	58,1% (18)	53,6% (15)	-
Ограничение сгибания	16,1% (5)	60,7% (17)	0,002
(+) тест Вильсона	16,1% (5)	7,1% (2)	-
Болезненность при максимальном сгибании	38,7% (12)	50,0% (14)	-

Таблица 2

Электрическая активность мышц у больных с поражением коленного сустава, мкВ

Мышцы	Сторона		P_{m-u}
	пораженная	непораженная	
Прямая мышца бедра	385,5±37,4	491,7±54,5	<0,05
Наружная широкая	164,9±9,1	269,4±19,8	<0,05
Полусухожильная и полуперепончатая мышцы	301,3±14,6	425,1±21,1	<0,05
Двуглавая мышца бедра	270,1±12,3	412,2±24,9	<0,05

Таблица 3

Показатели периферического кровообращения в мягких тканях бедер при РОКС

Показатель	Сторона		P_w
	пораженная	непораженная	
Vq 100, мл/мин	2,00±0,06	2,61±0,06	0,001
ПТС, %	18,4± 0,6	19,9± 0,5	0,002
ДКИа, %	18,7±0,5	22,0±0,6	0,001
ДСИа, %	19,5±0,7	26,3±0,8	0,001

Не выявлено возрастно-половых различий в клинических и инструментальных результатах обследования детей с РОКС.

При высоких стадиях заболевания (III-IV стадии) распространенность и выраженность симптомов, инструментальных изменений прогрессируют, что свидетельствует о постепенном развитии заболевания. При сборе жалоб следует обращать внимание на боли, о которых говорят все пациенты. Особое внимание следует обратить на боли, локализованные в переднем и переднемедиальных отделах коленного сустава.

При осмотре следует обследовать оба коленных сустава, так как двусторонний процесс встречается в 20-25% случаев. При билатеральном вовлечении сустава поражения обычно несимметричны.

Мы выяснили, что уменьшение объема движений находится в зависимости от стадии заболевания. Также выявлена прямая связь стадии заболевания с припухлостью и ограничением движений в коленном суставе.

При ЭМГ-исследовании следует обращать внимание на снижение электрогенеза мышц, окружающих коленный сустав, что связано со стадией заболевания. Снижение кровотока на пораженной стороне отмечается у большинства пациентов и не связано со стадией РОКС.

При проведении ультрасонографических исследований коленных суставов РОКС сопровождается наличием жидкости в полости сустава, неровностью контуров суставного хряща коленного сустава, субхондральными дефектами мыщелков бедра и наличием внутрисуставных тел. Однако чувствительность УЗИ по выявлению дефектов хряща значительно уступает МРТ, что предполагает использование УЗИ только в качестве скринингового исследования.

Выводы: 1. Из клинических симптомов наиболее часто при РОКС наблюдаются припухлость коленного сустава, болезненность медиального мыщелка, ограничение и болезненность при сгибании. Припухлость и ограничение движений чаще наблюдаются на поздних стадиях заболевания.

2. У детей с РОКС при УЗИ и МРТ обнаруживается наличие жидкости в полости сустава, неровность контуров и дефекты суставного хряща, которые учащаются на поздних стадиях болезни. Чувствительность УЗИ исследования при выявлении костно-хрящевых дефектов значительно уступает МРТ (не более 66,7%) и допустима в качестве скринингового метода при диагностике болезней коленного сустава.

3. Смещение центра тяжести при РОКС наблюдается у 95% обследуемых, в том числе в 100% случаев при III-IV стадиях болезни.

4. При РОКС наблюдается поражение электромиографической активности мышц, окружающих пораженный коленный сустав, в 83,3% случаев при I-II стадиях и в 100% – при III-IV стадиях, снижение пульсового кровотока пораженной конечности – в 66,7% при I-II стадиях и в 100% – при III-IV стадиях РОКС.

Литература

1. *Баширова Ф.Х.* Рассекающий остеохондроз коленного сустава (болезнь Кёнига): автореф. дис… канд. мед. наук. Казань, 1973. 17 с.

2. *Кузнецов И.А., Монахов В.В., Селин А.В.* Принципы артроскопического лечения болезни Кёнига коленного сустава: пособие для врачей. СПб.: Изд-во РосНИИТО им. Р.Р. Вредена, 2003. 20 с.

3. *Хлоин А.В., Мазуркевич Е.А.* Общие принципы и показания к магнитно-резонансным исследованиям: метод. пособие для врачей. СПб.: Изд-во РосНИИТО им. Р.Р. Вредена. СПб., 1996. 51 с.

4. Articular cartilage lesions of the knee / *B.R. Mandelbaum, J.E. Browne, F. Fu et al.* // Am. J. Sports Med. 1998. № 26. P. 853-861.

5. *Cahill B.R.* Osteochondritis dissecans of the knee: Treatment of juvenile and adult forms. // J. Am. Acad. Orthop. Surg. 1995. № 3. P. 237-247.

6. *Cahill B.R., Berg B.C.* 99m-Technetium phosphate compound joint scintigraphy in the management of juvenile osteochondritis dissecans of the femoral condyles // Am. J. Sports Med. 1983. Vol. 11, № 5. P. 329-335.

7. *Clanton T.O., DeLee J.C.* Osteochondritis dissecans: history, pathophysiology and current treatment concept // Clin. Orthop. 1982. № 167. P. 50-64.

8. *De Smet A.A. Ilahi O.A., Graf B.K.* Untreated osteochondritisdissecans of the femoral condyles: prediction of patient outcome using radiographic and MR findings // Skeletal Radiol. 1997. Vol. 26. P. 463-467.

9. Diagnostic performance of clinical examination and selective magnetic resonance imaging in the evaluation of intra-articular knee disorders in children and adolescents / *M.S. Kocher, J. DiCanzio, D. Zurakowski et al.* // Am J Sports Med. 2001. Vol. 29. P. 292-296.

10. *Flynn J.M., Kocher M.S., Ganley T.J.* Osteochondritis dissecans of the knee // J. Pediatr. Orthop. 2004. Vol. 24, № 4. P. 434-443.

11. *Glancy G.L.* Juvenile osteochondritis dissecans // Am J. Knee Surg. 1999. Vol. 12. P. 120-124.

12. *Hugstone J.T., Hergenroeder P.T., Courtenay B.G.* Osteochondritis dissecans of the femoral condyles // J. Bone Jt. Surg. 1984. Vol. 66-A, № 9. P. 1340-1348.

13. *Obedian R.S., Grelsamer R.P.* Osteochondritis dissecans of the distal femur and patella // Clin. Sports Med. 1997. № 16. P. 157-174.
14. *Wilson N.A*. diagnostic sign in osteochondritis dissecans of the knee // J. Bone Jt. Surg. 1967. Vol. 49-A. P. 477-480.

БАИНДУРАШВИЛИ АЛЕКСЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, директор, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Россия, Санкт-Петербург (info@rosturner.ru).
BAINDURASHVILI ALEXEY GEORGIEVICH – doctor of medical sciences, professor, director, Federal Research Pediatric Orthopedic Institute named after G.I. Turner, Russia, St.-Peterburg.

СЕРГЕЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ – врач-травматолог-ортопед, Городская детская больница № 3, Россия, Чебоксары (drsergey331@rambler.ru).
SERGEYEV SERGEY VLADISLAVOVICH – doctor, traumatological-orthopedic department, Municipal Pediatric Hospital № 3, Russia, Cheboksary.

ПЕТРОВ АНДРЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.
PETROV ANDREW GEORGIEVICH – candidate of medical sciences, assistant professor of Traumatological Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

НИКОЛАЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – врач-травматолог-ортопед, Городская детская больница № 3, Россия, Чебоксары.
NIKOLAYEV SERGEY ANATOLYEVICH – doctor, traumatological-orthopedic department, Municipal Pediatric Hospital № 3, Russia, Cheboksary.

УДК 617.54-089.85
ББК 55.4

Т.Р. ВОЗЯКОВА, А.А. МАЛОВ

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛЛАПСОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ У БОЛЬНЫХ РАСПРОСТРАНЁННЫМ ДЕСТРУКТИВНЫМ ТУБЕРКУЛЁЗОМ

Ключевые слова: *туберкулёз,экстраплевральный пневмолиз, функция внешнего дыхания.*

Предложены результаты исследования функции внешнего дыхания у больных распространённым деструктивным туберкулёзом лёгких, которым проведены коллапсохирургические операции. Проведена дифференцировка показаний к двум основным видам коллапсохирургических операций с учётом влияния их на функцию внешнего дыхания и реабилитацию оперированных больных в отдалённом периоде. У больных деструктивным туберкулёзом с двухсторонней диссеминацией в лёгких и низкими функциональными показателями предложенная методика операции экстраплеврального пневмолиза позволяет повысить эффективность лечения и реабилитационный потенциал данной категории больных. При толстостенных и гигантских фиброзных кавернах ввиду обратимости коллапса предпочтение следует отдавать таким методикам постоянного коллапса, как экстраплевральная торакопластика.

T.R. VOZYAKOVA, A.A. MALOV

INFLUENCE COLLAPSE SURGICAL OPERATIONS ON FUNCTION OF EXTERNAL BREATH AT SICK OF A WIDESPREAD DESTRUCTIVE TUBERCULOSIS

Key words: *tuberculosis, extrapleural pneumolysis, respiratory function.*

Results of research of function of external breath at lungs sick of a widespread destructive tuberculosis by which are spent collapse surgical operations are offered. The differentiation of indications to two principal views collapse surgical operations with the account of their influence on function of external breath and rehabilitation of the operated patients in the remote period is spent. At sick of a destructive tuberculosis with bilaterial dissemination in lungs and low functional indicators the offered technique of operation extrapleural pneumolysis allows to raise efficiency of treatment and rehabilitation potential of the given category of patients. At thick-walled and huge fibrous cavities in view of convertibility of a collapse it is necessary to give preference to techniques of a constant collapse, such as extrapleural thoracoplasty.

В литературе последних лет появились сообщения о возрождении интереса хирургов к методикам селективного коллапса кавернизированного отдела лёгкого при распространённых формах лёгочного туберкулёза зачастую с обширным двухсторонним поражением легких [1, 2]. Экстраплевральная торако-

пластика остаётся основным методом коллапсохирургии. Однако эта операция сопряжена с большой травматичностью и, как следствие, стойким снижением функции внешнего дыхания у оперированных больных [4]. Альтернативным методом является экстраплевральная пломбировка. Однако недостаточная эффективность, частые осложнения в послеоперационном периоде явились основным препятствием к широкому применению данной методики.

Появление и развитие видеоторакоскопической техники открыло новые возможности в снижении травматизма и улучшении результатов лечения различной патологии легких. Однако малоинвазивные доступы под контролем видеоторакоскопии (ВТС) в коллапсохирургии туберкулеза органов дыхания применяются сегодня очень редко. Недостаточно изученным остается вопрос о дифференцировке показаний к двум основным видам коллапсохирургических операций с учётом влияния их на функцию внешнего дыхания и реабилитацию оперированных больных в отдалённом периоде. Таким образом, на сегодня этот раздел хирургии остается недостаточно разработанным, что делает актуальным наше исследование.

Цель исследования – изучить функциональные последствия и отдалённые результаты экстраплеврального пневмолиза с пломбировкой экстраплевральной полости в сравнении с результатами традиционной экстраплевральной торакопластики.

Методы исследования. Настоящая работа выполнялась в туберкулёзном лёгочно-хирургическом отделении ГУЗ «Республиканский противотуберкулезный диспансер», г. Чебоксары. У 50 больных с двухсторонним поражением лёгких, зачастую с низкими функциональными показателями, был использован хирургический коллапс лёгкого, в качестве которого применялся видеоассистированный экстраплевральный пневмолиз с пломбировкой. В качестве группы сравнения нами изучены результаты лечения 50 больных с аналогичной распространённостью лёгочного процесса, которым за период 1986-2004 гг. с целью стабилизации специфического процесса проведена экстраплевральная верхнезадняя торакопластика.

По возрастному и половому составам группы были идентичны. Преобладали мужчины (84% в основной группе и 90% в группе сравнения), средний возраст оперированных больных составил 37,3+3,1 года в основной группе и 39,8+4,1 года – в группе сравнения.

Статистическую обработку цифровых данных производили методом вариационной статистики с определением среднего квадратичного отклонения (σ), средней ошибки сравниваемых величин (m_1, m_2, …m_n), коэффициента достоверности (F) однофакторного дисперсионного анализа и доверительной вероятности (p) с помощью программы Microsoft Office Excel 2003. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

При оценке функционального состояния больных учитывались результаты инструментального исследования. В качестве методов инструментального исследования применяли спирографию, определение газов артериализованной капиллярной крови.

Спирографическое исследование проводилось на микропроцессорном портативном спироанализаторе «ЭТОН 01» (фирма «Этон», Россия) в первой половине дня натощак или спустя 2 ч после приёма пищи больным в положении сидя. У всех больных определяли жизненную ёмкость лёгких (ЖЕЛ), форсированную жизненную ёмкость лёгких (ФЖЕЛ), объём форсированного выдоха за 1 с (ОФВ1) и отношение объёма форсированного выдоха за 1 с к жизненной ёмкости лёгких (ОФВ1/ЖЕЛ%). Полученные значения измеренных функциональных показателей сопоставляли с должными величинами, рассчитанными с учётом пола, возраста, роста и массы.

Исследование газов артериализованной капиллярной крови выполняли на анализаторе газов крови ABL 77 (фирма «Радиометр», Дания). Артериализованную капиллярную кровь брали из мочки уха. У всех больных измеряли парциальное напряжение кислорода и двуокиси углерода (PaO_2 и $PaCO_2$).

Функциональные последствия экстраплеврального пневмолиза с пломбировкой и экстраплевральной торакопластики определяли на основании сопоставления результатов функциональных исследований до операции с результатами функциональных исследований, выполненных через 1 месяц и через 1 год после операции. При расчёте среднегрупповых значений функциональных показателей учитывались все полученные значения функциональных показателей до и после проведения операций вне зависимости от наличия, выраженности или отсутствия изменений функциональных показателей до операции и в процессе динамического наблюдения.

Результаты исследования и их обсуждение. Функциональные результаты коллапсохирургических операций по среднегрупповым значениям функциональных показателей представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Функциональные результаты экстраплеврального пневмолиза по среднегрупповым значениям функциональных показателей до, через 1 месяц и 1 год после операции

Функциональные показатели	Период (или время) исследования		
	до операции	после операции	
		через 1 месяц	через 1 год
ЖЕЛ% должной величины	53,44±3,63	53,29±2,87	78,12±1,24**
ФЖЕЛ% должной величины	55,21±1,25	53,86±0,59	81,28±0,57**
$ОФВ_{1\%}$ должной величины	65,70±4,13	65,61±3,26	76,98±2,34*
$ОФВ_1$/ЖЕЛ%% должной величины	60,36±1,63	59,85±2,75	69,99±1,4*
PaO_2, мм рт. ст.	57,41±2,15	63,7±2,6	78,56±1,09*
$PaCO_2$, мм рт. ст.	47,09±1,01	46,1±2,03	44,22±2,31

Примечание. * $p < 0,05$, ** $p < 0,02$.

Таблица 2

Функциональные результаты экстраплевральной торакопластики по среднегрупповым значениям функциональных показателей до, через 1 месяц и 1 год после операции

Функциональные показатели	Период (или время) исследования		
	до операции	после операции	
		через 1 месяц	через 1 год
ЖЕЛ% должной величины	68,31±4,32	60,21±3,27	62,81±2,10
ФЖЕЛ% должной величины	66,98±2,37	60,03±0,51	61,34±1,92
$ОФВ_{1\%}$ должной величины	76,22±5,16	72,79±3,36	72,91±2,01
$ОФВ_1$/ЖЕЛ%% должной величины	69,95±1,09	68,01±2,3	68,21±0,61
PaO_2, мм рт. ст.	67,6±2,27	69,8±2,3	70,86±1,68
$PaCO_2$, мм рт. ст.	45,98±1,54	45,35±2,06	45,02±0,59

Среднегрупповые значения вентиляционных параметров и газов артериализованной капиллярной крови свидетельствуют о положительном влиянии экстраплеврального пневмолиза с пломбировкой на вентиляционную и газообменную функцию лёгких (табл. 1). Через 1 месяц после операции среднегрупповые значения ЖЕЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_1$/ЖЕЛ идентичны их среднегрупповым значениям до операции. Через 1 год же после операции среднегрупповые значения ЖЕЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_1$/ЖЕЛ и PaO_2 значительно (статистически достоверно – $p < 0,05$ и 0,02) превышают среднегрупповые значения ЖЕЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_1$/ЖЕЛ и PaO_2 через 1 месяц после операции.

Экстраплевральная торакопластика, напротив, оказывает небольшое (статистически недостоверное) отрицательное воздействие на вентиляционную

функцию лёгких при отсутствии изменений состава артериализованной капиллярной крови (табл. 2). Среднегрупповые значения ЖЕЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_1$/ЖЕЛ через 1 месяц и 1 год после операции меньше среднегрупповых значений этих показателей до операции. Среднегрупповые значения PaO_2 и $PaCO_2$ через 1 месяц и 1 год после операции практически идентичны среднегрупповым значениям этих показателей до операции.

Таким образом, функциональные результаты через месяц после оперативного вмешательства и в отдалённом периоде были достоверно лучшими в основной группе. Снижение показателей внешнего дыхания после малоинвазивных операции было менее выражено, при этом отмечено улучшение газового состава крови. В результате применение малотравматичной техники коллапсохирургических операций по поводу туберкулеза органов дыхания позволило снизить риск хирургического лечения этой категории больных.

Применение малотравматичной техники и предложенной нами методики послеоперационного ведения больных, а также обратимость коллапса позволило в отдалённом периоде повысить реабилитационный потенциал оперированных больных в основной группе.

С учётом недостаточной эффективности и бесперспективности консервативной терапии, высокого риска применения хирургического лечения резекционного плана у больных деструктивным туберкулёзом с двухсторонней диссеминацией в лёгких и низкими функциональными показателями предложенная методика операции экстраплеврального пневмолиза позволяет повысить эффективность лечения и реабилитационный потенциал данной категории больных. Применение экстраплеврального пневмолиза с пломбировкой коллагеном малоэффективно при толстостенных и гигантских фиброзных кавернах ввиду обратимости коллапса. В этих случаях предпочтение следует отдавать таким методикам постоянного коллапса, как экстраплевральная торакопластика.

Литература

1. *Газалиев М.Б., Кутиев М.И., Газалиев И.М.* Роль торакопластики в лечении деструктивных форм туберкулёза лёгких // Актуальные проблемы хирургического лечения туберкулёза и сопутствующих заболеваний лёгких: материалы науч.-практ. конф. М.: ЦНИИТ РАМН, 2010. С. 44-45.

2. *Ленская Л.Г.* Вентиляционные показатели и биомеханика дыхания у больных распространённым фиброзно-кавернозным туберкулёзом до и после торакопластики: дис. ... канд. мед. наук. Томск, 1990. С. 173.

3. *Малов А.А.* Экстаплевральный пневмолиз с пломбировкой в лечении распространенного деструктивного туберкулеза легких: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2011. 20 с.

4. *Пехтусов В.А., Иванов А.В.* Новые способы экстраплеврального пневмолиза в хирургии лекарственно-устойчивого туберкулёза лёгких // Новые технологии в торакальной хирургии: тез. докл. 20-го расширенного пленума проблемной комиссии «Торакальная хирургия» / Научный совет по хирургии РАМН. Ярославль, 2009. С. 100-101.

5. *Walls T., Shingadia D.* The epidemiology of tuberculosis in Europe // Arch. Dis. Child. 2007. Vol. 92. P. 726-729.

ВОЗЯКОВА ТАТЬЯНА РОМАНОВНА – кандидат медицинских наук, заведующая курсом фтизиатрии кафедры госпитальной терапии № 1 с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (moscw38@orionet.ru)

VOZYAKOVA TATYANA ROMANOVNA – candidate of medical sciences, managing a course phthisiatrya of Hospital Therapy № 1 Chair with phthisiatric's course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МАЛОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – кандидат медицинских наук, заведующий туберкулезным легочно-хирургическим отделением, Республиканский противотуберкулезный диспансер, Россия, Чебоксары (zaved1969@yandex.ru).

MALOV ALEKSEY ANATOLYEVICH – candidate of medical sciences, managing of Pulmonary Tuberculosis Surgery Department, Republican Antitubercular Clinic, Russia, Cheboksary.

УДК 616.33-089-87
ББК 676

В.Е. ВОЛКОВ, С.В. ВОЛКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ НИЖНЕГО ЭЗОФАГЕАЛЬНОГО СФИНКТЕРА В ПАТОГЕНЕЗЕ ЕЮНОЭЗОФАГЕАЛЬНОЙ РЕФЛЮКСНОЙ БОЛЕЗНИ

Ключевые слова: *нижний кардиоэзофагеальный сфинктер, гастрэктомия, еюноэзофагеальный рефлюкс, еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь, синдром регургитации, пищеводно-кишечный анастомоз.*

Приведены краткие сведения об анатомии и функциональной деятельности нижнего эзофагеального сфинктера в норме и патологии. Представлены результаты рентгенологических и эндоскопических исследований у 283 больных, перенесших тотальную гастрэктомию по поводу рака желудка и других заболеваний этого органа. Установлено, что полное удаление желудка с резекцией абдоминального отдела пищевода, особенно с удалением нижней трети приводит к развитию еюноэзофагеальной рефлюксной болезни, которая была выявлена у 176 (62,2%) больных. Разрушение кардиоэзофагеального сфинктера неизбежно ведет к регургитации билиопанкреатического рефлюксата в просвет резецированного пищевода с развитием различных по тяжести морфологических изменений слизистой пищевода.

V.E. VOLKOV, S.V. VOLKOV

MODEM VIEWS ON THE ROLE OF THE LOWER ESOPHAGEAL SPHINCTER IN PATHOGENESIS OF JEJUNO-ESOPHAGEAL REFLUX DISEASE

Key words: *the lower cardio-esophageal sphincter, gastrectomy, jejuno-esophageal reflux, jejuno-esophageal reflux disease, regurgitation syndrome, jejuno-esophageal anastomosis.*

The data on anatomy and function of the lower esophageal sphincter in norm and pathology is represented. The results of roentgenological and endoscopic studies in 283 patients after total gastrectomy due to cancer and other diseases are presented. It was confirmed that total gastrectomy with resection of the abdominal segment or the lower third of esophagus leads to jejuno-esophageal reflux disease which was revealed in 176 (62,2%) patients. Destruction of cardioesophageal sphincter inevitably leads to regurgitation of bile and pancreatic juice in esophagus and development of morphologic changes of different severity.

На протяжении нескольких последних десятилетий в литературе утвердилось мнение о том, что тотальная гастрэктомия, как и резекция желудка, приводит на отдаленных сроках после операции к развитию различных по тяжести патологических синдромов [1, 3, 6, 13]. Среди агастрических синдромов большое внимание исследователей привлекают рефлюксный эзофагит, демпинг-синдром, анемия, астения, потеря массы тела, нарушение функции некоторых органов брюшной полости (печени, поджелудочный железы и кишечника). Однако следует указать, что многие данные по изучению патогенеза большинства из указанных синдромов были получены в основном у больных, перенесших резекцию желудка и органосберегающие операции в сочетании с ваготомией. Для подтверждения этого достаточно назвать рефлюксный эзофагит, патогенез которого достаточно подробно подвергся изучению в плане новой нозологической формы патологии – гастроэзофагеальной рефлюксной болезни. Это справедливо и в отношении таких сравнительно частых синдромов, как демпинг-синдром, анемия, агастральная астения, патогенез которых также подробно изучен в основном у больных, перенесших резекцию желудка [2, 4, 7]. Патогенез этих клинически важных синдромов у больных после гастрэктомии изучен до настоящего времени крайне недостаточно.

В связи с этим при изложении ряда вопросов патогенеза постгастрэктомических синдромов мы вынуждены, к сожалению, использовать данные, полученные при изучении постгастрорезекционной патологии.

В 1925 г. M.R. Reid впервые установил важную роль в патогенезе эзофагита у больных после тотальной гастрэктомии синдрома регургитации [12].

Более поздними исследовании было доказано, что заброс (регургитация) в пищевод желудочного и дуоденального содержимого может вызывать воспалительный процесс в его стенке, обусловленный протеолитической активностью желудочного и панкреатического соков и отсутствием слизистого барьера в пищеводе. Эпителий пищевода не обладает способностью выделять вязкий слизистый секрет, который, например, в желудке является надежным местным фактором защиты от кислотно-пептического воздействия. В результате постоянной регургитации желудочного и дуоденального содержимого в пищеводе может возникать рефлюкс-эзофагит или пептическая язва. Оба проявления этой пептической реакции нередко объединяют в одну нозологическую форму – пептическую болезнь пищевода [1, 5].

В понимании механизма возникновения рефлюкс-эзофагита важное значение многие авторы придают изменению давления в пищеводе и нарушению сфинктерной деятельности пищеводно-желудочного перехода. В норме этот сфинктерный механизм позволяет пище попадать в желудок и в то же время предотвращает гастроэзофагеальный рефлюкс.

Существование анатомического сфинктера в области кардии (наподобие сфинктерного аппарата привратника) в настоящее время полностью отвергается. Рентгено-морфологически физиологическая кардия состоит из над- внутридиафрагмального и абдоминального сегментов пищевода. Концепция о механизме замыкания кардии основана на многочисленных экспериментальных и клинических наблюдениях, связанных в схематическую теорию трех компонентов: клапанного, пищеводного и диафрагмального.

В подслизистом слое кардиального отдела желудка располагаются косые мышечные пучки, сокращение которых приводит к заострению кардиальной вырезки (угол Гиса) и сближению в виде розетки складок слизистой оболочки, расположенных в зоне кардиального отверстия (складки Губарева). Образование такой розетки сопровождается плотным смыканием складок по типу истинного анатомического сфинктера (рис. 1).

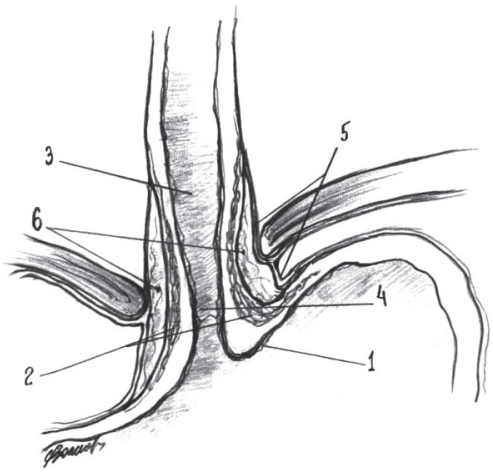


Рис. 1. Схема области пищеводно-желудочного перехода:
1 – складки Губарева;
2 – подслизистая оболочка в области кардии;
3 – пищеводная ампула;
4 – абдоминальный сегмент пищевода;
5 – нижняя диафрагмально-эзофагеальная мембрана (мембрана Лаймера);
6 – параэзофагеальная жировая клетчатка

Механизм взаимодействия этих анатомических образований (угол Гиса, косые мышцы и складки слизистой оболочки в зоне кардиального отверстия) большинство исследователей считают основой клапанного компонента замыкания кардии [1]. Манометрические измерения внутрипросветного давления пищеводно-желудочного перехода позволили установить наличие определенного градиента между давлением в кардии, желудке и пищеводе. Первое всегда выше, за исключением момента раскрытия кардии во время прохождения пищевого комка. Зона высокого давления протяженностью от 2 до 3 см обусловлена тоническими сокращениями циркулярных мышечных волокон пищевода. Баробарьер между желудком и пищеводом, сопряженный с тонусом кольцевой мускулатуры терминального

отдела пищевода, составляет сущность пищеводного компонента запирательной функции кардии.

Мышечные ножки диафрагмы чрезвычайно рыхло связаны со стенкой пищевода. Фиксация же пищевода к зоне отверстия в диафрагме осуществляется с помощью фиброзно-волокнистой пластинки – мембраны Лаймера.

Мембрана Лаймера начинается из диафрагмальной фасции и в виде воронки, направленной широкой частью вниз, проходит внутри пищеводного отверстия, вплетаясь в пищевод на 2-3 см выше диафрагмы. При натяжении листков мембраны во время вдоха возникает как бы пережатие пищевода в дистальной части его наддиафрагмального сегмента (в рентгенологическом понимании «нижний пищеводный сфинктер»).

Признавая условно наличие нижнего пищеводного сфинктера и натяжение мембраны Лаймера, можно в какой-то степени объяснить механизм диафрагмального компонента замыкания кардии. Описанный анатомо-физиологический комплекс в норме препятствует ретроградному продвижению желудочного содержимого, а также пищи. Недостаточность функциональной деятельности этого аппарата является причиной регургитации и эзофагита.

Нижний эзофагеальный сфинктер − это сегмент пищевода с высоким давлением и протяженностью от 2 до 4 см локализуется на соединении пищевода с желудком. Этот сегмент пищевода отличается большой барьерной способностью для предотвращения рефлюкса желудочного содержимого. На нижний эзофагеальный сфинктер оказывают значительное влияние миогенные, нейрогенные и гормональные факторы. Его давление колеблется от 15 до 30 мм рт. ст., оно выше, чем внутрижелудочное давление. У человека нижний эзофагеальный сфинктер не идентифицируется анатомически в противоположность другим видам сфинктеров, которые существуют отчетливо в виде мышечных сфинктеров пищеварительного тракта. При снижении основного давления в области нижнего эзофагеального сфинктера ниже 10 мм рт. ст. на фоне высокого желудочного давления у пациентов могут возникать эпизоды гастроэзофагеального рефлюкса [10].

В норме нижний эзофагеальный сфинктер расслабляется при глотании и способствует свободному прохождению пищи внутрь желудка. В то же время этот сфинктер предотвращает в норме ретроградный заброс желудочного содержимого в просвет пищевода. Период релаксации сфинктера составляет в норме 5-10 с [10, 11].

На фоне нарушения релаксации нижнего эзофагеального сфинктера создаются условия для замедленного освобождения пищевода от рефлюксата желудочного содержимого. На недостаточный эзофагеальный клиренс регургитируемого желудочного сока впервые обратили внимание S. Sloan [15]. Эти авторы подробно изучили показатели пищеводного клиренса при изменении положения тела, различных двигательных расстройствах желудка, неустраненных грыжах пищеводного отверстия диафрагмы. У анализируемой группы больных удалось выявить наличие физиологических и патологических рефлюксов. В частности, было установлено, что задержка желудочного содержимого, которая может быть обусловлена физиологическими и анатомическими причинами, может симулировать гастроэзофагеальный рефлюкс и иметь большое сходство с общеизвестной рефлюксной патологией пищевода.

Целью исследования являлось выявление роли нижнего пищеводного сфинктера в развитии еюноэзофагеальной рефлюксной болезни после полного удаления желудка.

Результаты исследования и их обсуждение. Наши исследования показали, что каждая тотальная гастрэктомия, выполненная по поводу рака желудка и

Таблица 1

Распределение больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью по возрасту и полу

Пол	Возраст в годах						
	до 30	31-40	41-50	51-60	61-70	старше 70	всего
Мужчины	1	16	27	42	16	7	109 (61,9%)
Женщины	3	10	18	19	11	6	67 (38,1%)
Всего	4	26	45	61	27	13	176 (100%)

других заболеваний желудка (полипоз и др.), неизбежно сопровождается полным удалением кардиоэзофагеального сфинктера и вышерасположенный отдел пищевода подвергается резекции не только абдоминального отдела пищевода, но и диафрагмального и наддиафрагмального отдела этого органа. Так, из 283 обследованных нами больных в возрасте от 26 до 82 лет, перенесших гастрэктомию, удаление кардиоэзофагеального сфинктера привело к развитию еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у 176 пациентов (62,2%). Распределение больных по возрасту и полу представлено в табл. 1.

Как явствует из табл. 1, в большинстве случаев больные с еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью были в возрасте от 41 до 60 лет. Мужчин было 109 (61,9%), женщин – 67 (38,1%).

Частота развития еюноэзофагеальной рефлюксной болезни в зависимости от способа формирования пищеводно-кишечного анастомоза приведена в табл. 2.

Таблица 2

Частота возникновения еюноэзофагеальной рефлюксной болезни в зависимости от способа формирования пищеводно-кишечного анастомоза

Способы наложения соустья	Количество гастрэктомий	Количество больных эзофагитом
Инструментальные гастрэктомии		
ПКС-25	27	20 (74,1%)
СПТУ	184	130 (70,6%)
Прямой эзофагодуоденоанастомоз (ручной метод)	56	7 (12,5%)
Эзофагоеюностомия (ручной метод)	40	19 (47,5%)
Всего	307	176 (57,3%)

По данным табл. 2, наиболее часто еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь возникает у больных, у которых гастрэктомия была выполнена с помощью сшивающих аппаратов ПКС-25 и СПТУ. При применении аппарата ПКС-25 это осложнение наблюдалось в 74,1% случаев, при использовании СПТУ – в 70,6% случаев. В то же время формирование пищеводного анастомоза ручным методом (гастрэктомия с прямым эзофагодуоденоанастомозом) снижает частоту развития этого осложнения до 12,5%. По сравнению с этим методом после гастрэктомии с наложением эзофагоеюноанастомоза ручным методом частота еюноэзофагеальной рефлюксной болезни возрастала почти в 4 раза, составляя в среднем 47,5% ($p < 0,001$).

Приведенные данные показывают, что при формировании пищеводного соустья с двенадцатиперстной или тощей кишкой ручным методом частоту развития еюноэзофагеальной рефлюксной болезни удается снизить до 27,1%. Следует учитывать, что эластичные, легко спадающиеся анастомозы, наложенные вручную, препятствуют возникновению регургитации и развитию еюноэзофагеальной рефлюксной болезни. Грубые, ригидные вследствие вторичного заживления и зияющие анастомозы после инструментальных гастрэктомий способствуют регургитации с последующим развитием еюноэзофагеальной рефлюксной болезни.

T.R. Schrock и L.W. Way, проводя ретроспективный анализ результатов тотальной гастрэктомии, пришли к выводу, что формирование пищеводно-кишечного анастомоза по Ру снижает частоту «щелочного» рефлюксного эзофагита у больных до 2,4% [14]. На основе данных литературы H.Y. Yoo et al. указы-

вают, что частота «щелочного» эзофагита при различных методах формирования пищеводно-кишечного анастомоза может колебаться от 25 до 100% [8].

T. Yumiba et al. при эндоскопическом исследовании выявили эзофагит у 6 из 30 (20%) больных после тотальной гастрэктомии: из них у 2 из 8 (25%) больных после наложения пищеводно-кишечного анастомоза по Ру и у 4 из 22 (18%) больных после гастрэктомии с интерпозицией тонкой кишкой. Авторы пришли к выводу, что существенной разницы в частоте развития эзофагита при этих двух вариантах гастрэктомии нет [9].

Приведенные выше данные отечественных и зарубежных авторов, а также наши исследования убеждают в том, что рефлюксная болезнь пищевода после гастрэктомии может возникать практически при всех основных вариантах формирования пищеводно-кишечных анастомозов. Частота развития этой патологии в значительной мере зависит от выбора соответствующего варианта формирования пищеводно-кишечного соустья. Согласно нашим данным, даже при использовании нескольких вариантов пищеводно-кишечных анастомозов (с помощью ручного или механического шва) удается снизить частоту еюноэзофагеальной рефлюксной болезни лишь до 57,3%.

Наши клинические исследования позволяют условно выделить три формы клинического течения еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у больных после гастрэктомии: легкую, средней тяжести и тяжелую. Из 176 больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью легкая форма течения нами была отмечена у 51 (29,0%), средней тяжести – у 102 (58,0%) и тяжелая форма – у 23 (13,0%) больных.

Частота симптомов у больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью легкой степени следующая: регургитация встречается в 88,2% случаев; дисфагия – в 80,4%; изжога – в 76,5%; загрудинные боли – у 70,8%; иррадиация болей в межлопаточную область – у 39,2% больных.

Из 51 больного (29,0%), у которых были проявления еюноэзофагеальной рефлюксной болезни в легкой форме, соустье между пищеводом и начальным отделом тощей кишки накладывалось сшивающим аппаратом или же был наложен эзофагодуоденоанастомоз или эзофагоеюноанастомоз ручным методом. У этой группы больных еюноэзофагеальная рефлюксная болезнь в легкой форме в основном возникает спустя 1-3 месяца после гастрэктомии, т.е. на тех сроках, когда полностью завершается процесс рубцевания анастомоза и появляются условия для регургитации. Наибольшее количество среди больных с еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью составляют пациенты с еюноэзофагитом средней тяжести – 102 больных (58,0%). В группе больных с еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью средней тяжести симптомы заболевания более выражены, чем при легкой форме. Изжога, дисфагия, регургитация наблюдаются у них значительно чаще. Так, регургитация встречается у 97,1%, дисфагия – у 100%, изжога – у 98,1%, боли за грудиной – у 87,2%, иррадиация болей в межлопаточную область – у 49% больных. Средняя степень еюноэзофагеальной рефлюксной болезни наблюдается в основном у больных, перенесших гастрэктомию с наложением эзофагоеюноанастомоза сшивающими аппаратами ПКС-25 и СПТУ.

Тяжелая форма еюноэзофагеальной рефлюксной болезни наблюдалась нами у 23 (13,0%) больных. С тяжелой формой этой патологии больные нередко психически подавлены, истощены, ослаблены. Все клинические симптомы ярко выражены. Частота симптомов у больных с тяжелой формой еюноэзофагеальной рефлюксной болезни следующая: регургитация возникает у 100% больных, дисфагия – у 100%, изжога – у 100%, рвота − у 91,3%, боли в эпигастрии – у 82,6%, боли за грудиной у 91,3%, иррадиация болей в межлопаточную область – у 52,2% больных.

Тяжелая форма еюноэзофагеальной рефлюксной болезни обычно отмечается у больных, перенесших гастрэктомию с наложением анастомозов сшивающими аппаратами ПКС-25 и СПТУ, причем чаще первым из них, что можно связать с тем, что аппарат ПКС-25 по своей конструкции является менее совершенным.

Как уже указывалось выше, в диагностике еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у всех обследованных нами больных был использован метод фиброэзофагоеюноскопического исследования с помощью японского аппарата фирмы «Олимпус», модель GIF-P3. Благодаря фиброэзофагоеюноскопии удается в ряде случаев выявлять ту или иную форму еюноэзофагеальной рефлюксной болезни даже при несоответствии клинических данных и результатов рентгенологического исследования. Кроме того, значимость этого метода трудно переоценить в ранней диагностике еюноэзофагеальной рефлюксной болезни, а также при проведении постоянного контроля за эффективностью проводимой терапии.

На основании полученных результатов фиброэзофагоеюноскопического исследования представляется возможным условно выделить четыре патоморфологические формы еюноэзофагеальной рефлюксной болезни, возникающей у больных после гастрэктомии: 1) катаральную; 2) эрозивную; 3) язвенно-некротическую и 4) стенозирующую. Распределение больных еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью в зависимости от тяжести патоморфологических изменений в пищеводе приведено в табл. 3.

Таблица 3

Распределение больных с еюноэзофагеальной рефлюксной болезнью в зависимости от тяжести морфологических изменений в пищеводе и способа формирования анастомоза

Формы еюноэзофагеальной рефлюксной болезни	Количество больных		Способы формирования анастомоза	
	абс.	%	ручной шов	механический шов
Катаральная	90	51,1	19	71
Эрозивная	64	36,4	7	57
Язвенно-некротическая	15	8,5	-	15
Стенозирующая	7	4,0	-	7
Итого	176	100	26	150

Как видно из табл. 3, катаральная форма еюноэзофагеальной рефлюксной болезни наблюдалась у 90 (51,1%) больных, эрозивная – у 64 (36,4%), язвенно-некротическая у 15 (8,5%), стенозирующая – у 7 (4,0%). Эрозивная, язвенно-некротическая и стенозирующая формы еюноэзофагеальной рефлюксной болезни чаще отмечены у больных, у которых формирование пищеводно-кишечного анастомоза было произведено с помощью механического (танталового) шва сшивающими аппаратами ПКС-25 и СПТУ.

Катаральная форма еюноэзофагеальной рефлюксной болезни характеризуется наличием гиперемии, отека, набуханием слизистой пищевода, особенно в зоне, предлежащей к анастомозу. При эрозивной форме еюноэзофагеальной рефлюксной болезни отек и набухание слизистой оболочки пищевода выражены более резко, чем при катаральной форме, на гиперемированной слизистой оболочке располагаются поверхностные эрозии величиной до 3-4 мм, покрытые фибрином, слизистая пищевода при этом легко ранима и кровоточит при малейшем контакте с инструментом.

Характерными признаками язвенно-некротической формы еюноэзофагеальной рефлюксной болезни являются выраженные воспалительные изменения слизистой пищевода в нижней трети с переходом на среднюю треть: в области анастомоза имеются язвы с некротическим дном от 0,3 до 1 см в диаметре. Часто по краям этих язв наблюдаются разрастания грануляций. Язвы могут быть как одиночные, так и множественные.

Стенозирующая форма еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у больных, перенесших гастрэктомию, встречается редко – в 4% случаев. Для стенози-

рующей формы еюноэзофагеальной рефлюксной болезни характерно наличие ригидного пищеводно-кишечного соустья, которое нередко деформировано и в той или иной степени сужено, сократительная или замыкательная функция его практически отсутствует.

Удаление запирательного антирефлюксного механизма кардии во время операции на желудке и пищеводе способствует созданию условий для беспрепятственного заброса кишечного содержимого в пищевод, что приводит к развитию щелочного эзофагита. Однако эзофагит развивается лишь в тех случаях, когда пищевод атоничен и не способен возвращать кишечное содержимое обратно в анастомозируемые петли тощей кишки. Считается, что атония пищевода и наличие регургитации – это основные факторы развития рефлюкс-эзофагита. Данное осложнение возникает лишь при наличии задержки тонкокишечного содержимого в пищеводе, когда создается длительная экспозиция его действия на слизистую пищевода, что приводит к усугублению тяжести воспаления и деструктивных процессов в слизистой пищевода, особенно в дистальном его отделе. В то же время кратковременное затекание и орошение пищевода кишечным содержимым у большинства больных проявляются клинически только изжогой и не вызывают патоморфологических изменений слизистой.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в основе патогенеза еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у больных после гастрэктомии, сопровождающейся одновременно удалением нижнего пищеводного сфинктера, лежат следующие факторы: 1) регургитация кишечного содержимого через пищеводно-кишечный анастомоз в пищевод; 2) продолжительное сочетанное действие желчи и панкреатических ферментов на слизистую пищевода; 3) снижение резистентности слизистой пищевода к раздражающему и переваривающему действию пищеварительных соков; 4) резкое снижение клиренса пищевода. Однако до настоящего времени не установлено, какие из вышеуказанных факторов играют в патогенезе еюноэзофагеальной рефлюксной болезни бóльшую роль.

Все это подтверждает тот факт, что патогенез еюноэзофагеальной рефлюксной болезни у больных после полного удаления желудка с одновременным удалением кардиоэзофагельного сфинктера является чрезвычайно сложным и до конца не раскрытым. В этом убеждает хотя бы отсутствие в современной литературе каких-либо сведений о функциональном состоянии непосредственно зоны пищеводно-кишечного соустья и анастомозируемых петель тонкой кишки, а также о роли еюноэзофагеального комплекса в развитии постгастрэктомической патологии.

Литература

1. *Березов Ю.Е., Варшавский Ю.В.* Оперированный желудок. М.: Медицина, 1974. 191 с.

2. *Кубышкин В.А., Корняк Б.С.* Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь. М.: Спрос, 1999. 190 с.

3. Резекция желудка и гастрэктомия / *В.С. Маят, Ю.М. Панцырев, Ю.К. Квашнин и др.* М.: Медицина, 1975. 368 с.

4. *Самсонов М.А., Лоранская Т.И., Нестерова А.П.* Постгастрорезекционные синдромы (патогенез, клиника, лечение). М.: Медицина, 1984. 190 с.

5. *Черноусов А.Ф., Шестаков А.Л., Тамазян Г.С.* Рефлюкс-эзофагит. М.: ИздАТ, 1999. 136 с.

6. Alkaline reflux esophagitis in the patients with total gastrectomy and Roux en Y esojejunostomy / *D. Matei, R. Dadu, R. Prundus et al.* // J. Gastrointestin Liver Dis. 2010. Vol. 19, № 3. P. 247-252.

7. *Cameron J.L.* Current surgical therapy. 8th ed. Philadelphia, 2004. 1343 p.

8. Control of alkaline reflux esophagitis after total gastrectomy by a percutaneous jejunostomy tube / *H.Y. Yoo, A. Venbrux, R. Heitmiller et al.* // J. Clin. Gastroenterol. 2002. Vol. 35, № 1. P. 46-49.

9. Impact of esophageal bile exposure on the genesis of reflux esophagitis in the absence of gastric acid after total gastrectomy / *T. Yumiba, H. Kawahara, K. Nishikawa et al.* // Amer. J. Gastroenterology. 2002. Vol. 97, № 7. P. 1647-1652.

10. *Mittal R.K., Me Callum R.W.* Characteristics of transient lower esophageal sphincter relaxations in humans // Am. J. Physiol. 1989. Vol. 252. P. 636.

11. *Peters J., Watson Th.J., de Meester Th.R.* Esophageal anatomy and physiology and gastroesophageal reflux disease // Greenfield's Surgery. Scientific principles and practice / M.W. Mulholland, K.D. Lillemoe, G.M. Doherty et al. Philadelphia; Baltimore; N.Y., 2006. P. 661-691.

12. *Reid M.R.* Total gastrectomy // Surg. Gynecol. Obstet. 1925. Vol. 41. P. 667-672.

13. *Schölmerich J.* Postgastrectomy syndromes – diagnosis and treatment // Res. Clin. Best Pract. Gastroenterol. 2004. Vol. 18, № 5. P. 917-933.

14. *Schrock T.R., Way L.W.* Total gastrectomy // Am. J. Surg. 1978. Vol. 135. P. 348-355.

15. *Sloan S., Kahrilas P.J.* Impairment of esophageal emptying with hiatal hernia // Gastroenterology. 1991. Vol. 100. P. 596.

ВОЛКОВ ВЛАДИМИР ЕГОРОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (sveklavna@mail.ru).

VOLKOV VLADIMIR EGOROVICH – doctor of medical sciences, professor, head of Hospital Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ВОЛКОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (sveklavna@mail.ru).

VOLKOV SERGEY VLADIMIROVICH – candidate of medical sciences, associate professor of Hospital Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.33-089-87
ББК 676

С.В. ВОЛКОВ

КЛИНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЛНОГО УДАЛЕНИЯ ЖЕЛУДКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ И РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ БОЛЕЗНЕЙ ЕЮНОЭЗОФАГЕАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Ключевые слова: *последствия полного удаления желудка, гастрэктомия, еюноэзофагеальный комплекс, постгастрэктомические синдромы, рефлюк-эзофагит, еюнит, рубцовая стриктура пищеводного соустья, нарушение моторной функции анастомозируемых петель тонкой кишки.*

Дан клинический анализ отдаленных последствий операции полного удаления желудка. Приведены краткие сведения о значимости патологических синдромов, возникающих на различных сроках после полного удаления этого органа пищеварительной системы. Приведена классификация постгастрэктомических синдромов. Представлен анализ результатов изучения функционального состояния еюноэзофагеального комплекса у 368 больных, перенесших тотальную гастрэктомию по поводу рака желудка и других заболеваний этого органа. Приведена классификация болезней еюноэзофагеального комплекса, указана частота развития каждого патологического синдрома.

S.V. VOLKOV

CLINICAL ASSESSMENT OF RESULTS AFTER TOTAL GASTRECTOMY: KEY ISSUES OF CLASSIFICATION AND EARLY DIAGNOSIS OF DISEASES OF JEJUNO-ESOPHAGEAL COMPLEX

Key words: *results of total gastrectomy, gastrectomy, jejuno-esophageal complex, postgastrectomy syndromes, reflux-esophagitis, jejunitis, stricture of the esophageal anastomosis, motiility disorders of the anastomosed loops of small intestine.*

The clinical review of the late consequences of total gastrectomy is presented. The data on gastric physiology and clinical importance of pathological syndromes which occur after removal of this key important organ of the digestive system is described. The classification of postgastrectomy syndromes along with results of examination of jejuno-esophageal complex and its function in 368 patients after total gastrectomy due to cancer and other diseases is presented. The classification and rate of disorders of jejuno-esophageal complex is presented.

Ежегодно в мире выполняются тысячи операций полного удаления желудка (тотальная гастрэктомия, экстирпация желудка) по поводу рака и других заболеваний этого органа (распространенный полипоз, осложненный крово-

течением и/или малигнизацией, тотальный некроз желудка вследствие ущемленной диафрагмальной грыжи, химический ожог желудка).

В настоящее время насчитывается более 70 методов реконструкции после гастрэктомии, однако каждый из методов завершается полным отсутствием важнейшего органа пищеварительной системы – желудка, нередко в сочетании с удалением и/или резекцией соседних с желудком органов (спленэктомия, резекция поджелудочной железы, резекция печени, резекция поперечной ободочной кишки и др.). Не удивительно поэтому, что даже ближайшие последствия полного удаления желудка часто омрачаются развитием ряда нарушений функциональной и органической природы патологических синдромов, объединяемых такими собирательными понятиями, как «болезни оперированного желудка», «синдромы агастрии», «постгастрэктомические синдромы», «последствия гастрэктомии» и др. Однако эти термины не отражают сути чрезвычайно сложной патологии, возникающей после полного удаления желудка.

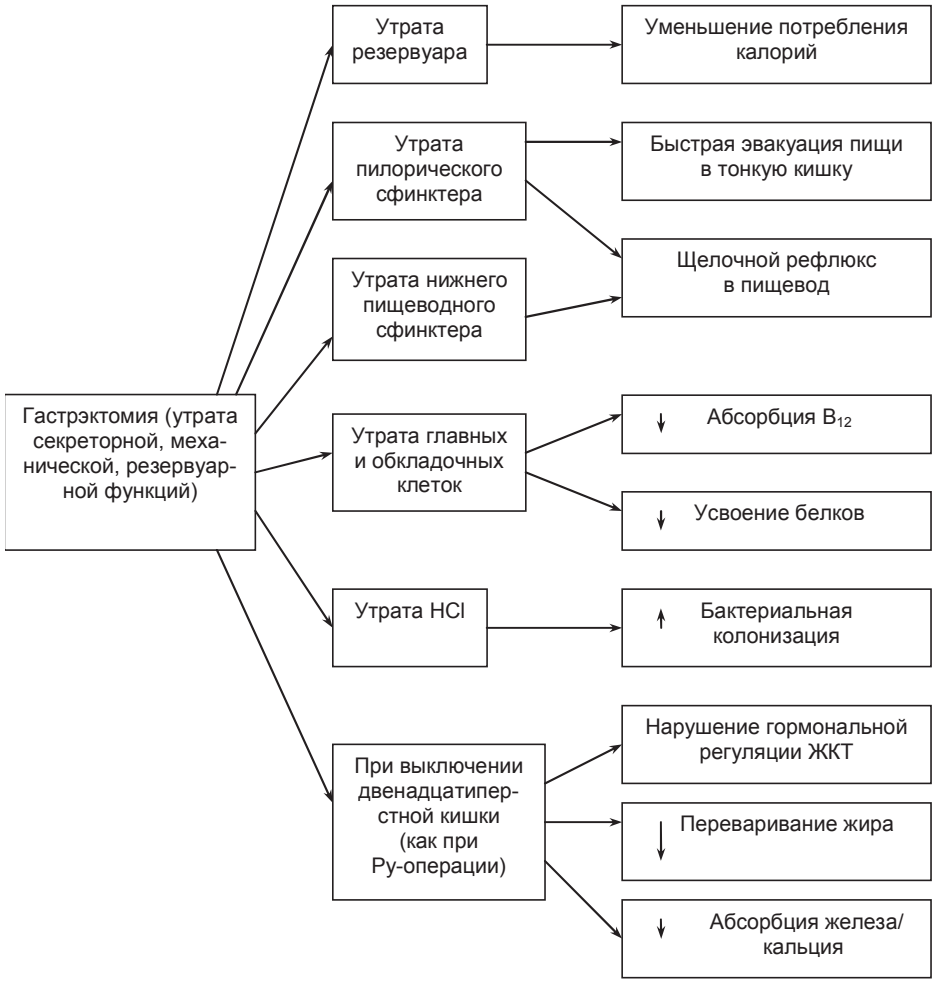
В связи с увеличением количества выполняемых в последние десятилетия операций полного удаления желудка по поводу рака исследователи некоторых зарубежных стран (Япония, Германия, Франция, США) большое внимание начали уделять многоплановому изучению последствий гастрэктомии, рассматривая их не только как хирургическую, но и как патофизиологическую проблему [5, 8, 9, 11, 12, 14, 15].

Приведенные нами ранее исследования [2] у больных, перенесших операцию полного удаления желудка, позволили с помощью клинических, рентгенологических и эндоскопических исследований выявить у данной категории пациентов следующее ведущие патологические синдромы: 1) еюноэзофагеальную рефлюксную болезнь; 2) демпинг-синдром; 3) рубцовый стеноз эзофагоеюноанастомоза; 4) рецидив рака в зоне пищеводно-кишечного анастомоза; 5) агастральную анемию; 6) потерю массы тела (истощение); 7) агастральную астению; 7) метаболические расстройства и нарушения костной ткани (остеопороз, остеомаляция и др.).

Наиболее распространенная методика полного удаления желудка – экстирпация этого органа с последующим соединением пищевода с тощей кишкой (крайне редко с двенадцатиперстной кишкой) и наложением межкишечного анастомоза по Брауну. Гастрэктомия сопровождается, как правило, удалением кардиоэзофагеального и пилороантрального сфинктеров, пересечением обоих блуждающих нервов. После полного удаления желудка пища непосредственно поступает в тощую кишку, минуя двенадцатиперстную кишку, так как ее проксимальный отдел зашивают наглухо. Эти грубые анатомо-физиологические нарушения неизбежно влекут за собой функциональную перестройку органов пищеварительной системы и оказывают влияние на другие функции организма.

В 2004 г. D. Sharma попытался представить патогенез последствий полного удаления желудка в виде схемы (рисунок) [13].

Патологию, возникающую после полного удаления желудка, особенно с удалением или резекцией смежных органов, трудно представить в виде какой-то упрощенной схемы. Кроме того, следует учитывать, что гастрэктомия приводит к утрате не только секреторной, механической и резервуарной функций желудка, но и других функций этого органа (эндокринной, моторно-эвакуаторной) [6, 7, 10]. К тому же последствия этой тяжелой операции не ограничиваются только развитием щелочного рефлюксного эзофагита и некоторых синдромов, обусловленных развитием отдельных обменных нарушений (обмен жиров, железа, кальция). Все это требует, безусловно, более глубокого изучения патогенеза различных по тяжести синдромов, возникающих после гастрэктомии.



Патогенез последствий полного удаления желудка (по Sharma D., 2004)

Существующие в настоящее время многочисленные варианты гастрэктомии позволяют превратить анастомозируемую с пищеводом тощую кишку в подобие резервуара. В этом плане заслуживает внимания метод создания вместо удаленного желудка тонкокишечного резервуара на непересеченной петле (uncut-Ру).

Объем внутрикишечного, интраеюнального, резервуара после гастрэктомии зависит от выбора варианта формирования пищеводно-кишечного соустья: на длинной петле по способу Schlofler или сравнительно короткой петле по способу Ру. От выбора длины петли зависит прежде всего емкость пищеводно-кишечного комплекса, располагающегося между еюноэзофагеальным соустьем и межкишечным брауновским анастомозом. В доступной нам литературе мы не встретили работ, в которых была бы дана клиническая оценка функциональной деятельности пищеводно-кишечного комплекса и возникающим в этом комплексе патологическим синдромам.

Материалы и методы исследования. С целью изучения функциональной состояния еюноэзофагеального комплекса и его роли в развитии постгастрэкто-

мической патологии нами были проведены исследования у 368 больных в возрасте от 18 до 82 лет. Женщин было 140 (3,8%), мужчин – 228 (62%). Всем больным были произведены простые, стандартные и расширенно-комбинированные гастрэктомии. Показанием к гастрэктомии являлись рак желудка (339 больных, или 92,1%), полипоз желудка, осложненный кровотечением и малигнизацией (11 больных, или 3,0%), каллезные язвы желудка со злокачественным превращением (11 больных, или 3,0%), рецидивные кровотечения из варикозного расширения вен пищевода и желудка на почве портальной гипертензии и прогрессирующей гастропатии (4 больных, или 1,1%), прочие (3 больных, или 0,8%).

Из 368 больных, перенесших гастрэктомию, 245 (66,6%) больным был наложен пищеводно-кишечный анастомоз с использованием сшивающих аппаратов ПКС-25 и СПТУ, 61 больному (16,6%) был наложен прямой эзофагодуоденальный анастомоз и у 62 больных (16,8%) гастрэктомия была завершена формированием эзофагоеюноанастомоза ручным и электрохирургическим методом (по Гиляровичу, Ру и М.З. Сигалу). При выполнении гастрэктомии обращали большое внимание на необходимость соблюдения определенной дистанции (в среднем 40-60 см) между пищеводным соустьем и межкишечным соустьем.

Из 339 больных, страдающих раком желудка, комбинированные гастрэктомии были выполнены у 84 (24,8%): из них с резекцией абдоминального отдела пищевода и диафрагмального сегмента пищевода у 38, резекцией поджелудочной железы – у 23, спленэктомией – у 52, резекцией поперечной ободочной кишки – у 15, резекцией левой доли печени – у 2 больных. Общая летальность составила 11,4%.

Из 368 больных, подвергшихся тотальной гастрэктомии, клиническому и специальному обследованию подвергнуты 283 (75,9%). Обследование больных включало в себя: 1) выявление жалоб больных после операции с детализацией клинических симптомов; 2) детальное изучение объема оперативного вмешательства и выбора варианта наложения пищеводно-кишечного анастомоза; 3) проведение общепринятых лабораторных методов исследования; 4) рентгенологическое исследование; 5) фиброэзофагоскопию и фиброэзофагоеюноскопию с прицельной биопсией; 6) гистологическое и гистохимическое исследования биоптатов и др. Обследование проводилось в динамике после операции на сроках от 1 месяца до 10 лет и более.

Результаты исследования и их обсуждение. Из числа обследованных патология еюноэзофагеального комплекса выявлена у 261 больного (92,2%). Частота развития патологии эзофагоеюнального комплекса приведена в таблице.

Частота развития патологии эзофагоеюнального комплекса

Патологические синдромы	Количество больных	
	абс.	%
Эзофагит	176	62,2
легкой степени	51	29,0
средней степени	102	58,0
тяжелой степени	23	13,0
Дискинезия анастомозируемых петель тощей кишки:	50	19,2
гиперперистальтическая форма	38	76
гипоперистальтическая (атоническая) форма	12	24
Сегментарный еюнит анастомозируемых петель тонкой кишки	75	28,7
Рубцовый стеноз пищеводно-кишечного анастомоза	9	3,4
Рецидив рака в зоне пищеводно-кишечного анастомоза	4	1,5
Ру-синдром	3	1,1
Синдром приводящей петли тонкой кишки	2	0,8

Примечание. Больной может иметь больше одного синдрома.

Наиболее частой и тяжелой патологией еюноэзофагеального комплекса у больных, перенесших гастрэктомию, является рефлюкс-эзофагит. Причиной развития данной патологии является полное разрушение кардиоэзофагеального сфинктера, в результате чего создаются условия для заброса в еюноэзофагеальный комплекс панкреатобилиарного рефлюксата, что влечет за собой развитие той или иной формы эзофагита. Катаральная форма эзофагита нами была выявлена у 90 (51,1%) больных, эрозивная – у 64 (35,4%), язвенно-некротическая у 15 (8,5%) и рубцовая – у 7 (4,0%). Легкая степень рефлюкс-эзофагита отмечена у 29% больных, средняя – у 58% и тяжелая – у 13% больных.

Частота развития эзофагита в значительной степени зависит от способа формирования пищеводно-кишечного анастомоза. При применении сшивающего аппарата СПТУ это осложнение отмечено в 70,6% случаев, при формировании эзофагоеюноанастомоза ручным способом – в 47,5% случаев. В то же время при гастрэктомии с наложением прямого эзофагодуоденального анастомоза (контрольная группа, поскольку у этих больных не имеется еюноэзофагеального комплекса) частота развития этого осложнения составляла в среднем 12,2% ($p < 0,001$ и $p < 0,001$, соответственно).

До настоящего времени в литературе имеются единичные и к тому же противоречивые сведения об изменениях, возникающих в тощей кишке после ее анастомозирования с пищеводом Так, Г.Ф. Маркова выявила, что у большинства больных складки слизистой оболочки анастомозирующей петли выпрямлены и располагаются поперечно [4]. В отводящей петле наблюдается расширение типа резервуара, в котором содержится воздух. В нижележащих отделах отмечаются расширение петель тонкой кишки и нарушение их тонуса, что подтверждалось неравномерным заполнением петель кишечника бариевой взвесью. Ю.Е. Березов и Ю.В. Варшавский обратили внимание клиницистов на необходимость изучения функции первой петли тонкой кишки, анастомозируемой с пищеводом [1].

Проведенные нами рентгенологические исследования у 108 больных, перенесших гастрэктомию, показали, что вскоре после выполнения этой операции у больных отмечается расширение отводящего колена анастомозирующей с пищеводом петли и образуется при этом небольшой резервуар с воздушным пузырем, а в некоторых случаях удается наблюдать умеренное расширение анастомозирующей петли в области пищеводного соустья, а также расширение приводящей петли. Эти макроструктурные изменения с образованием внутрикишечного резервуара напоминают в какой-то степени образование своеобразного небольшого по объему «желудка».

Проведенные нами (совместно с Ю.А. Игониным) фиброэзофагоскопические и рентгенологические исследования позволили выявить две формы дискинезии анастомозируемых петель кишечника: гиперперистальтическую и гипоперистальтическую (атоническую). Из них первая форма отмечена у 38 (76%) больных и вторая форма – 12 (24%) пациентов. Для гиперперистальтической формы характерна повышенная двигательная активность анастомозируемой петли тощей кишки с частой регургитацией кишечного содержимого в пищевод. Однако при этой форме функциональных нарушений из-за кратковременности контакта кишечного содержимого со слизистой пищевода в большинстве случаев не возникает выраженных патоморфологических изменений либо развиваются лишь катаральные изменения в слизистой пищевода.

Для гипоперистальтической (атонической) формы дискинезии анастомозируемых петель тощей кишки характерно снижение их двигательной активности, вплоть до развития атонии и еюностаза. При этой форме дискинезии

петли тонкой кишки расширены, в просвете их, особенно в приводящей петле, содержится значительное количество кишечного содержимого, что приводит не только к еюностазу, но и эзофагостазу. Для этой формы течения дискинезии характерны, как правило, тяжелые патоморфологические изменения в слизистой пищевода. При развитии выраженного еюноэзофагостаза контакт кишечного содержимого со слизистой пищевода и анастомозируемых петель кишечника становится длительным. В этих условиях значительно возрастает повреждающее действие панкреатобилиарного рефлюксата, что приводит к снижению двигательной активности стенок пищевода, резкому снижению антирефлюксного механизма пищевода, развитию сегментарного еюнита.

Наряду с указанными выше патологическими синдромами еюноэзофагеального комплекса особого внимания заслуживает рубцовый стеноз эзофагоеюноанастомоза. Рубцовые стенозы пищеводно-кишечного соустья нами наблюдались у 9 (3,2%) больных, перенесших гастрэктомию. Больные были в возрасте от 35 до 56 лет; мужчин было 7, женщин – 2. У 7 из 9 больных этот патологический синдром возник после гастрэктомии с использованием сшивающих аппаратов (у 5 человек после применения ПКС-25 и у 2 – после применения СПТУ) и у 2 больных после наложения пищеводно-кишечного анастомоза ручным способом. У 8 больных сужение пищеводно-кишечного анастомоза протекало на фоне рефлюкс-эзофагита.

Органическое сужение в зоне пищеводно-кишечного анастомоза может быть обусловлено не только воспалительно-рубцовым процессом, но и рецидивом рака. Чаще всего рецидив рака возникает в связи с недостаточно высоким отсечением пищевода от верхнего края опухоли и неполным удалением параэзофагеальных лимфатических узлов.

Рецидив рака в пищеводно-кишечном комплексе, в частности в зоне пищеводного соустья, нами был выявлен у 4 больных (1,4%), перенесших гастрэктомию. У этих больных отмечено сужение пищеводно-кишечного соустья за счет роста опухоли в просвет пищевода. Диагноз рецидива рака у этой группы больных подтвержден рентгенологическим способом и с помощью фиброэзофагоеюноскопии с прицельной биопсией с последующим гистологическим исследованием.

Анализ результатов исследований позволяет прийти к выводу, что в развитии патологических синдромов, в том числе и их сочетанных форм, большое значение имеет выбор не только варианта формирования пищеводно-кишечного анастомоза, но и соответствующей длины анастомозируемой петли, а также образованный после реконструкции взамен удаленного полностью желудка еюноэзофагеальный комплекс. В доступной нам литературе мы не встретили работ, в которых бы была дана клиническая оценка значимости еюноэзофагеального комплекса в патогенезе некоторых постгастрэктомических синдромов. В данный комплекс поступают необработанные пищевые массы, именно в этом тонкокишечном резервуаре осуществляется начало пищеварения с помощью ферментов поджелудочной железы, поступающих в комплекс вместе с желчью. Из еюноэзофагеального комплекса осуществляется транзит пищевых масс, который может быть ускоренным, замедленным или иметь обратный ток. Этот процесс в значительной степени зависит от функционального состояния анастомозируемых петель тонкой кишки (атоническая или гиперперистальтическая форма дискинезии кишечника) и их макро- и микроструктурных изменений (острый или хронический сегментарный еюнит).

Наши исследования позволили установить клиническую значимость еюноэзофагеального комплекса как единой анатомо-физиологической структуры, играющей важную роль в патогенезе ряда постгастрэктомических синдромов,

которые в целом можно условно назвать собирательным термином – «болезни еюноэзофагеального комплекса». К ним относятся следующие: рефлюкс-эзофагит, анастомозит пищеводно-кишечного соустья, демпинг-синдром, дискинезия анастомозируемых петель тощей кишки, острый и хронический сегментарный еюнит, синдром приводящей и отводящей кишечной петли, «функциональная» непроходимость Ру-петли или Ру-стаз синдром, рубцовый стеноз пищеводно-кишечного анастомоза. Установлено, что от варианта сформированного еюноэзофагеального комплекса в той или иной степени зависят клинические проявления указанных выше агастральных синдромов.

Полученные в ходе исследования результаты обосновывают стремление хирургов в последние годы к формированию дополнительных тонкокишечных резервуаров на выключенной по Ру-петле или на непересеченной петле тонкой кишки вышезаглушенной приводящей кишки (операция uncut-Ру) с целью восстановления в какой-то степени полностью утраченной резервуарной функции желудка в связи с гастрэктомией, что позволяет улучшить питательный статус пациентов, устранить или минимизировать клинические проявления, прежде всего, демпинг-синдрома и еюноэзофагеальной рефлюксной болезни. Решение этой задачи направлено на улучшение качества жизни и социальной реабилитации больных, перенесших гастрэктомию.

Литература

1. *Березов Ю.Е., Варшавский Ю.В.* Оперированный желудок. М.: Медицина, 1974. 191 с.

2. *Волков С.В.* Гастрэктомия и ее последствия. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2007. 474 с.

3. *Давыдов М.И., Стилиди И.С., Конюхов Г.В.* Варианты тонкокишечной пластики при гастрэктомии по поводу рака [Электронный ресурс] // Дни Российского онкологического научного центра: материалы конф. 2006. URL: http://samaraonko.ru/files/conference-2006-l.htm.

4. *Маркова Г.Ф.* Клиника и лечение последствий полного удаления желудка. М.: Медицина, 1969. 160 с.

5. Control of alkaline reflux esophagitis after total gastrectomy by a percutaneous jejunostomy tube / *H.Y. Yoo, A. Venbrux, R. Heitmiller et al.* // J. Clin. Gastroenterol. 2002. Vol. 35, № 1. P. 46-49.

6. *DelValle J.* The Stomach as an Endocrine Organ // Digestion. 1997. Vol. 58, № 1. P. 4-7.

7. *Dockray G.J., Varro A., Dimaline R.* Gastric endocrine cells: gene expresion, processing, and targeting of active products // Am. Phys. Soc. 1996. Vol. 76. P. 767-798.

8. Impact of esophageal bile exposure on the genesis of reflux esophagitis in the absence of gastric acid after total gastrectomy / *T. Yumiba, H. Kawahara, K. Nishikawa et al.* // Amer. J. Gastroenterology. 2002. Vol. 97, № 7. P. 1647-1652.

9. Motility of the pouch correlates with quality of life after total gastrectomy / *Sh. Endo, T. Nishida, K. Nishikawa et al.* //Surgery. 2006. Vol. 139. P. 493-500.

10. *Mulholland M.W., Doherty G.M.* Complications in Surgery.Philadelphia; Baltimore; N.Y.; L., 2006. P. 396-473.

11. Postoperative morbidity/mortality and survival rates after total gastrectomy, with splenectomy/pancreatricosplenectomy for patients with advanced gastric cancer / *M. Yamamoto, H. Baba, Y. Kakeji et al.* // Hepato-Gastroenterology. 2004. Vol. 51. P. 298-302.

12. *Schölmerich J.* Postgastrectomy syndromes – diagnosis and treatment // Res. Clin. Best Pract. Gastroenterol. 2004. Vol. 18, № 5. P. 917-933.

13. *Sharma D.* Choice of digestive tract reconstructive procedure following total gastrectomy: A critical reappraisal // Indian Journal of Surgery. 2004. Vol. 66. Issue 5. P. 270-276.

14. *Tomita R.* Pathophysiology after operation for gastric cancer // J. Jpn. Coll. Surg. 1998. Vol. 23. P. 1-5.

15. *Tomita R., Fujisaki S., Tanojoh K., Fukuzawa M.* Relationship between jujunal interdigestive migrating motor complex and quality of life total gastrectomy with Roux-en-Y reconstruction for early gastric cancer // World J. Surgery. 2003. Vol. 27. P. 159-163.

ВОЛКОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ. См. с. 386.

УДК 378.321.7:616.89-008.454
ББК 56.14

А.В. ГОЛЕНКОВ

УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ О БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

Ключевые слова: *болезнь Альцгеймера, студенты-медики, осведомленность.*

Исследование показало не вполне удовлетворительные знания студентов о болезни Альцгеймера (19,3±2,9 правильного ответа на 30 вопросов; от 10 до 28, или 63,7±20,3% в среднем). Наибольшие трудности испытали респонденты по вопросам ее клиники, течения и психофармакотерапии. Имелись различия при сравнении результатов студентов по полу и специальности. Выявленные пробелы в знаниях будущих врачей требуют внесения изменений в процесс их подготовки.

A.V. GOLENKOV

LEVEL OF STUDENTS' KNOWLEDGE ABOUT ALZHEIMER'S DISEASE

Key words: *Alzheimer's disease, medical students, knowledge.*

The research showed not quite satisfactory knowledge of students about Alzheimer's disease (19,3±3,6 correct answers on 30 questions; from 10 to 28, or 63,7±20,3% on the average). The greatest difficulties experienced by the respondents concerned the clinical picture, course and psychopharmacotherapy of this disease. There were distinctions in answers when comparing students on sex and specialty. The revealed gaps in knowledge of future doctors demand modification of process of their education.

Болезнь Альцгеймера (БА) является одной из наиболее распространенных форм деменции среди населения. На ее долю приходится от 60% до 70% всех случаев слабоумия у людей пожилого и старческого возраста [2, 4]. В современной России может проживать более 1 млн пациентов с БА [6]. По прогнозам демографов, продолжительность жизни населения будет увеличиваться, а это значит, что число таких больных будет только расти. По данным World Alzheimer Report (2009), число людей с БА удваивается каждые 20 лет – от 36 млн в 2010 г. до 115 млн в 2050 г. [2].

Указанные обстоятельства свидетельствуют о важности знаний об этом заболевании населения, включая медицинских работников. Врачи всех специальностей также должны иметь правильные представления о БА, уметь выявлять и диагностировать ее на ранних этапах развития, помогать членам семей адаптироваться к последствиям деменции у родственников [7-12].

С целью определения знаний о БА и ассоциированных с ней расстройств B. Carpenter et al. предложена одноименная шкала [13]. Ее развитие было основано на тестировании больших групп респондентов, включая профессионалов, молодых специалистов, продолжающих обучение по специальности, обслуживающий персонал, родственников больных и пожилое население, чтобы выявить тех, кто знает, и тех, у кого следует повышать психиатрическую грамотность [9, 11].

Цель исследования – изучить у будущих врачей знания о БА.

Объект и методы исследования. Опрошено 184 студента (29 мужчин и 155 женщин) V курса медицинского факультета Чувашского госуниверситета. По специальности «Лечебное дело» училось 156 человек, «Педиатрия» – 28.

Студентам в начале весеннего семестра давалось задание самостоятельно изучить тему «БА», которая освещена в учебнике М.В. Коркиной с соавт. [5] и включена в экзаменационные вопросы по психиатрии. В качестве дополнительной информации рекомендовались материалы прочитанной ранее лекции, Интернет-ресурсы и другая доступная литература по теме.

В конце семестра (завершения обучения по курсу психиатрии) студенты были опрошены по шкале «Осведомленность о БА» [13], содержащей 30 вопросов (ответы верно/неверно). Подсчитывались общая сумма правильных

ответов, семь факторов (события жизни, факторы риска, симптомы болезни, лечение и наблюдение за больным, оценка и диагностика, люди, осуществляющие уход, течение болезни), отдельно учитывались также вопросы, вызвавшие наибольшие трудности у студентов.

Математико-статистическая обработка проводилась с помощью описательной статистики (M – среднее значение, σ – стандартное отклонение), χ^2-распределения (таблицы 3 × 2), однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA/MANOVA).

Результаты исследования и их обсуждение. Студенты в среднем правильно ответили на 19,3±3,6 вопроса из 30 (от 10 до 28 правильных ответов) без достоверной разницы между специальностями и полами. Как видно из таблицы, выявлены семь вопросов, вызвавших наибольшие трудности у студентов (< 50% правильных ответов). Это переоценка эффективности психофармакотерапии БА (вопрос 10), неосведомленность о судьбе больных (11), возможно раннее начало болезни (15), недостаточное знание клиники (18, 22), факторов, усугубляющих течение БА (29), и излишний патернализм в уходе за пациентами (30).

16,3% студентов не знали, что ответить на вопрос 24 и 11,4% – на 22 (таблица). В среднем такие ответы встречались в 4,1±3,6% случаев.

Сравнение ответов студентов (сумма правильных ответов – 19,4±3,1) и студенток (19,2±2,8) показало существенную разницу (выделена в таблице жирным шрифтом) в ответах на вопросы 5 ($\chi^2 = 6{,}48$; $df = 2$; $p = 0{,}03$), 8 ($\chi^2 = 7{,}90$; $df = 2$; $p = 0{,}01$), 17 ($\chi^2 = 7{,}81$; $df = 2$; $p = 0{,}02$), 20 ($\chi^2 = 9{,}45$; $df = 2$; $p = 0{,}008$), 21 ($\chi^2 = 47{,}7$; $df = 2$; $p < 0{,}001$), 24 ($\chi^2 = 11{,}59$; $df = 2$; $p = 0{,}003$), 29 ($\chi^2 = 14{,}31$; $df = 2$; $p < 0{,}001$). Хотя суммарно мужчины-респонденты показали достоверно лучшие знания только по фактору «Симптомы» БА (3,2±0,9 vs 2,7±0,9; $F = 8{,}08$; $p < 0{,}004$).

Сравнения ответов студентов специальностей «Лечебное дело» (19,4±2,9) и «Педиатрия» (18,6±2,6) показали различия в ответах на вопросы 2 ($\chi^2 = 13{,}84$; $df = 2$; $p < 0{,}001$), 3 ($\chi^2 = 18{,}98$; $df = 2$; $p < 0{,}001$), 6 ($\chi^2 = 6{,}67$; $df = 2$; $p = 0{,}03$), 10 ($\chi^2 = 48{,}9$; $df = 2$; $p < 0{,}001$), 13 ($\chi^2 = 21{,}87$; $df = 2$; $p < 0{,}001$) и 20 ($\chi^2 = 14{,}85$; $df = 2$; $p < 0{,}001$). Первые лучше педиатров ориентировались в вопросах, входящих в «Факторы риска» (3,7±1,2 vs 3,1±1,5; $F = 5{,}56$; $p < 0{,}01$) и «Диагноз» (3,1±0,8 vs 2,6±0,9; $F = 9{,}78$; $p = 0{,}002$), а последние набрали более высокие баллы по фактору «Течение» (3,2±0,9 vs 2,6±0,9; $F = 7{,}46$; $p = 0{,}006$).

Как свидетельствуют данные литературы, используемая в настоящем исследовании шкала имеет адекватную надежность и валидность. Так, тест-ретестовая корреляция составляет 0,81; внутренняя согласованность – 0,71 [13]. Шкала чувствительна к таким факторам, как возраст, образование, наличие в семье больного с БА. Результаты различаются между респондентами, прошедшими тренинг по вопросам деменций, и теми, кто не обучался [9, 11-13]. Отсюда можно сделать вывод об определенной точности результатов, получаемых при использовании шкалы.

Проведенное нами исследование показало не вполне удовлетворительную осведомленность о БА у опрошенных студентов-медиков. Так, более 70% правильных ответов было получено на 14 вопросов из 30 и менее 50% на семь вопросов; 63,7±20,3% в среднем.

Среднее число правильных ответов по шкале уступает результатам [13] студентов колледжа из США (20,19±3,59) и другим группам обследованных, включая психологов из Норвегии [11] и населения Великобритании [9].

Ответы студентов на вопросы шкалы «Осведомленность о БА»,%

Вопрос	Оба пола	Не знают	М	Ж	ЛД	Пед
1. Больные с БА могут управлять машиной, если с ними будет кто-то постоянно находиться	79,9	3,3	72,4	81,3	81,4	71,4
2. Гены могут только частично влиять на развитие БА	77,2	1,6	79,3	76,8	**82,1**	50,0
3. Тремор (дрожание) рук является типичным признаком БА	70,7	2,2	82,8	68,4	**76,3**	39,3
4. БА неизлечима	91,3	1,1	96,6	90,3	89,7	100
5. Обслуживание людей с БА облегчается, когда им дают простые пошаговые инструкции и не более одной за один раз	79,9	–	79,3	**93,5**	90,4	96,4
6. Если нарушения памяти и сознания возникают неожиданно, причиной, скорее всего, является БА	64,1	0,5	62,1	64,5	**66,0**	53,6
7. В редких случаях люди с БА выздоравливают	72,3	6,5	69,0	72,9	70,5	82,1
8. Когда человек с БА пользуется записками, чтобы не забыть что-либо, это является признаком ухудшения его болезни	62,0	7,6	41,4	**65,8**	59,6	75,0
9. В конечном счете люди с БА будут нуждаться в круглосуточном наблюдении	95,1	–	93,1	95,5	95,5	92,9
10. Назначаемые при БА лекарства эффективны*[1]	37,5	7,6	51,7	34,8	**64,7**	3,6
11. Многие люди с БА живут в домах инвалидов и хосписах	25,5	4,3	37,9	23,2	25,0	28,6
12. БА – один из видов слабоумия	84,2	–	93,1	82,6	84,6	82,1
13. Когда люди с БА рассказывают одну историю или задают один и тот же вопрос, стоит напомнить им о том, что они об этом уже говорили	81,5	2,2	82,8	81,3	**86,5**	53,6
14. Многие люди с БА помнят недавние события лучше, чем то, что случилось с ними в прошлом	80,7	3,8	93,1	89,0	94,9	85,7
15. Уже в 30 лет человек может заболеть БА	40,2	2,2	44,8	39,4	39,7	42,9
16. Было доказано, что умственные упражнения могут предупредить развитие БА	78,3	6,0	75,9	78,7	79,5	71,4
17. Людям с БА без тяжелых психических расстройств в лечении депрессии и тревоги может помочь психотерапия	63,6	7,1	44,8	**67,1**	61,5	75,0
18. Одним из признаков БА является ложная убежденность в том, что окружающие воруют у него какие-то вещи	48,4	1,6	51,7	47,7	46,8	57,1
19. Люди с БА особенно склонны к депрессии	81,5	2,2	72,4	83,2	83,3	71,4
20. После появления первых признаков БА средняя продолжительность жизни составляет 6-12 лет	53,3	3,3	31,0	**57,4**	48,1	**82,1**
21. Симптомы тяжелой депрессии могут быть ошибочно приняты за симптомы БА	53,8	1,6	**86,2**	47,7	49,4	42,9
22. Если человек с БА перестает спать по ночам, ему следует давать физическую нагрузку днем (в светлую часть суток)	38,6	11,4	31,0	40,0	40,4	28,6
23. Люди с БА неспособны принимать обоснованные решения в отношении самих себя	84,8	0,5	82,8	85,2	85,9	78,6
24. При прогрессировании болезни вероятность падения человека с БА резко возрастает	52,7	16,3	**62,1**	51,0	51,3	60,7
25. Когда у человека с БА появляются периоды возбуждения, медицинское обследование может выявить какие-либо другие заболевания, вызвавшее такое состояние	72,8	4,3	65,5	63,9	71,2	82,1
26. Высокое артериальное давление может усилить риск развития БА	64,1	3,8	55,2	65,2	66,0	53,6
27. Высокий уровень холестерина может усилить риск развития БА	63,6	6,0	79,9	79,9	62,8	67,9
28. Трудности в планировании денежных расходов (например, при оплате коммунальных услуг) является типичным и ранним признаком БА	69,6	2,7	51,7	72,9	63,5	85,7
29. Плохое питание может усилить проявления БА	35,3	0,5	58,6	31,0	37,8	21,4
30. Когда люди с БА начинают испытывать трудности при уходе за собой, лица, обслуживающие больного, должны немедленно взять уход за больным на себя	8,7	0,5	17,2	7,1	16,0	3,6

Примечание. М – мужчины; Ж – женщины; ЛД – лечебное дело; Пед – педиатрия.

[1] В связи с задачами исследования вопрос был немного изменен. В оригинале статьи он сформулирован как «Назначаемые при БА лекарства общедоступны (имеются в продаже) = Prescription drugs that prevent AD are available» [13].

Детальный анализ вопросов с низкой долей правильных ответов у студентов показывает, что только в трех случаях из семи материал по теме контрольного опроса действительно отсутствовал в учебнике психиатрии [5] либо мог способствовать неправильному пониманию изучаемой проблемы. Так, возможность начала БА в возрасте 30 лет обсуждается в Интернете [1]. Помимо семейных форм заболевания раннее начало БА наблюдается у пациентов с генетической мутацией пресенилина-1. На позитронно-эмиссионной томографии установлено, что у носителей такой аномалии уже в 20-летнем возрасте может произойти формирование бляшек амилоида, предшествующих дегенеративным нарушениям в мозге и когнитивным расстройствам [3]. С.И. Гаврилова допускает возможность более раннего начала пресенильного типа БА у людей в возрасте около 40 лет [4], в других литературных источниках указывается возраст 45 и более лет [5, 6].

Авторы учебника психиатрии при описании БА несколько раз акцентируют внимание читателя на недееспособности таких больных и неспособности их к самообслуживанию. Констатируют, что эффективных методов лечения пока не найдено, поэтому больные нуждаются в постороннем наблюдении и уходе. Подчеркивается фатальный и быстрый распад психической деятельности спустя 5-6 лет от начала ослабоумливающего процесса [5]. Такая информация вполне могла привести студентов к выбору необходимости помещения больных в хосписы (дома инвалидов) или организации немедленного контроля и ухода за ними. Хотя в учебнике при этом указывается, что необходимо добиваться посильной двигательной активности и привлечения больных к доступным формам деятельности.

Вопросы нарушений сна и их коррекции довольно детально разбираются при изучении неврологии. В учебнике психиатрии для коррекции расстройств сна у больных с БА рекомендуют лекарственные препараты с седативным эффектом (нитразепам, хлорпротиксен), но не повышение активности в дневное время и гигиенические мероприятия по ликвидации инверсии сна. Подчеркивается особая роль диетического питания для больных с БА [5].

Полученные результаты об уровне знаний студентов о БА требуют внедрения в учебный процесс образовательных инноваций. Это могут быть разработанные и успешно апробированные за рубежом образовательные программы [10], практика [7] и обучающие игры [8]. Опыт их использования свидетельствует о повышении умений и знаний о БА, улучшении отношения к больным с деменцией будущих врачей. Обучающие игры – один из видов образовательных интервенций, которые способствуют формированию профессиональных компетенций. Это могут быть ролевые (симуляционные), социальные и кооперативные игры (на доске, картах, с использованием видеофильмов). Они способствуют лучшему усвоению новой информации, коррекции представлений о предмете изучения. И программы, и обучающие игры могут успешно применяться в медицинском вузе, особенно для обучения студентов вопросам геронтопсихиатрии [8, 10].

Таким образом, апробированная шкала оказалась пригодным инструментом для оценки знаний студентов-медиков по вопросам БА. Данный подход может использоваться профессорско-преподавательским составом вуза для оперативного контроля за выполнением студентами самостоятельной работы. Улучшение грамотности будущих врачей по избранным вопросам психиатрии требует внедрения в учебный процесс тренинговых и игровых методов обучения, повышения у учащихся мотивации к приобретению знаний и желания учиться.

Литература

1. 21 сентября отмечался Всемирный день борьбы с болезнью Альцгеймера [Электронный ресурс] // Великая Эпоха: сайт. URL: http://www.epochtimes.ru/content/view/53091/7/.

2. Болезнь Альцгеймера [Электронный ресурс] // Научно-диагностический центр клинической психиатрии: сайт. URL: http://www.psychopro.ru/index.php?page=lechenie_alcgeimera.

3. Болезнь Альцгеймера по наследству [Электронный ресурс] // Медикус. Посольство медицины: сайт. URL: http://www.medicus.ru/news/science/157228.phtml.

4. *Гаврилова С.И.* Фармакотерапия болезни Альцгеймера. М.: Пульс, 2007. 360 с.

5. *Коркина М.В., Лакосина Н.Д., Личко А.Е., Сергеев И.И.* Психиатрия: учебник для студ. мед. вузов. 3-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2006. 576 с.

6. *Левин О.С.* Диагностика и лечение деменции в клинической практике. М.: МЕДпресс-информ, 2010. 256 с.

7. A prospective controlled trial of the influence of a geriatrics home visit program on medical student knowledge, skills, and attitudes towards care of the elderly / *G.D. Denton, R. Rodriguez, P.A. Hemmer et al.* // J. Gen. Intern. Med. 2009. Vol. 24, № 5. P. 599-605.

8. *Alfarah Z., Schünemann H.J., Akl E.A.* Educational games in geriatric medicine education: a systematic review // BMC Geriatr. 2010. Vol. 23. P. 10-19.

9. *Hudson J.M., Pollux P.M., Mistry B., Hobson S.* Beliefs about Alzheimer's disease in Britain // Aging Ment. Health. 2012. Vol. 16, № 7. P. 828-835.

10. *Jefferson A.L., Cantwell N.G., Byerly L.K., Morhardt D.* Medical student education program in Alzheimer's disease: The PAIRS Program // BMC Med. Educ. 2012. Vol. 21. 12:80.

11. *Nordhus I.H., Sivertsen B., Pallesen S.* Knowledge about Alzheimer's disease among Norwegian psychologists: the Alzheimer's disease knowledge scale // Aging Ment. Health. 2012. Vol. 16, № 4. P. 521-528.

12. *Spector A., Orrell M., Schepers A., Shanahan N.* A systematic review of knowledge of dementia outcome measures // Ageing Res. Rev. 2012. Vol. 11, № 1. P. 67-77.

13. The Alzheimer's Disease Knowledge Scale: development and psychometric properties / *B.D. Carpenter, S. Balsis, P.G. Otilingam et al.* // Gerontologist. 2009. Vol. 49, № 2. P. 236-247.

ГОЛЕНКОВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой психиатрии и медицинской психологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (golenkovav@inbox.ru).

GOLENKOV ANDREY VASILYEVICH – doctor of medical science, professor, head of Psychiatry and Medical Psychology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.894-053.8-035.7
ББК 56.14

А.В. ГОЛЕНКОВ, Ю.Н. МАЛЫШКИНА, Е.А. СПОДИНА, Д.А. УНДЕРОВ

ОШИБКИ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

Ключевые слова: *болезнь Альцгеймера, ошибки, диагностика, лечение.*

Анализ выявленных случаев болезни Альцгеймера психиатрической службой г. Чебоксары показал запаздывание на 2-7 лет (в среднем через 3,8±1,1 года) диагностики этой патологии, которая проводилась лишь на этапе умеренно выраженной и тяжелой стадии деменции. Терапия была не вполне адекватной: холинергическая стратегия применялась у 81,1% больных, глутаматергическая и нейропротективная – в единичных случаях.

A.V. GOLENKOV, Yu.N. MALYSHKINA, E.A. SPODINA, D.A. UNDEROV

ERRORS IN DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF ALZHEIMER'S DISEASE

Key words: *Alzheimer's disease, errors, diagnostics, treatment.*

The analysis of the cases of Alzheimer's disease detected by psychiatric service of the city of Cheboksary showed delay for 2-7 years (average – 3,8±1,1 years) of diagnostics of this pathology which was carried out only at the stage of moderately expressed and heavy stage of dementia. The therapy was not quite adequate: cholinergic strategy was applied in 81,1% of patients, glutamatergic and neuroprotective – in isolated cases.

В 2010 г. в мире проживало 36,5 млн людей с деменцией, 7,7 млн новых случаев регистрировалось в течение года, что соответствовало появлению 1 случая в течение каждых 4 с [8]. Число больных с деменцией увеличивается в два раза каждые 20 лет, большинство из них будет проживать в развивающихся

и среднеразвитых странах [7, 8]. Болезнь Альцгеймера (БА) является ведущей причиной деменции, сопровождается выраженными нарушениями памяти, речи и интеллекта, которые постоянно прогрессируют. Человек за несколько лет до смерти становится недееспособным и полностью зависящим от окружающих людей [1, 4-8, 10].

Несмотря на очевидные расстройства психической деятельности, правильная прижизненная диагностика БА представляет определенные трудности даже для врачей [9]. С одной стороны, когнитивное снижение объясняется закономерными возрастными изменениями (так называемая старческая забывчивость), с другой – влиянием различных второстепенных сомато-неврологических факторов, с третьей – расценивается как депрессия, делирий или «чистые» поведенческие психические расстройства, что часто приводит к ошибочной (поздней) диагностике и неадекватному лечению. До недавнего времени в Чувашии регистрировались единичные случаи БА, поэтому анализ их выявления, диагностики и лечения был затруднен [2].

Цель исследования – изучить клинико-терапевтические характеристики больных с БА, наблюдавшихся в психиатрической практике.

Объект и методы исследования. Анализировались 37 случаев БА, зарегистрированных психиатрической службой г. Чебоксары. Мужчин было 17, женщин – 20 в возрасте от 51 до 80 лет (средний возраст – 68,0 ± 7,9 года). Изучались сведения, содержащиеся в медицинской карте амбулаторного больного.

Математико-статистическая обработка проводилась с помощью описательной статистики (M – среднее значение, σ – стандартное отклонение), χ^2-распределения (таблицы 2 × 2).

Результаты исследования и их обсуждение. Лишь в одном случае отмечено первичное обращение к врачу-психиатру и в двух после консультации у врача-психотерапевта. Подавляющее большинство больных были направлены к психиатру врачами неврологами и терапевтами после 2-7 лет (в среднем – 3,8±1,1 года) наблюдения, обследования и малоэффективной терапии. Почти во всех выписках из медицинской карты встречались указания на различные виды так называемой энцефалопатии с констатацией церебрального атеросклероза, артериальной гипертензии (гипертонической болезни). Нарушения мозгового кровообращения отмечались в трех случаях, тяжелые черепно-мозговые травмы – в двух. Прогрессирование когнитивных, психопатологических и поведенческих расстройств, нарушение самообслуживания с невозможностью самостоятельного проживания являлись главными причинами направления больных к психиатру.

Как видно из таблицы, не было выявлено ни одного случая легкой деменции. Состояния больных квалифицировались либо как синдром амнестического слабоумия (прогрессирующей амнезии) либо как синдром тотального слабоумия вследствие БА.

Не случайно, что многие имели I группу инвалидности, на судебно-психиатрической экспертизе были признаны недееспособными. Психотические нарушения, чаще всего в виде бредовых идей ущерба, отравления, отношения, ревности выявлялись в период наблюдения у 35,1% больных, сопровождались агрессией и возбуждением, стойкими нарушениями сна. Все это потребовало госпитализации в психиатрический стационар и назначения нейролептических средств. Другие психические расстройства наблюдались реже. Статистической разницы при сравнении мужчин и женщин выявлено не было ($\chi^2 < 3,84$; $df = 1$; $p > 0,05$).

Касаясь терапии когнитивных расстройств при БА, нужно отметить, что ингибиторы холинэстеразы (реминил, галантамин, экселон) назначались в

среднем через один год психиатрического наблюдения. Этому предшествовало применение различных сосудистых и ноотропных препаратов в сочетании с нейролептиками, транквилизиторами, антидепрессантами и нормотиками. И только после достижения стадии умеренно выраженной деменции с проявлениями стойкого амнестического синдрома врачами начинала проводиться холинергическая терапия. Больные получали ее, как правило, короткими курсами (менее трех месяцев), титрование дозы препарата для определения максимально переносимой дозы не проводилось. При этом побочные эффекты от приема реминила наблюдались кратковременно всего у одного больного, тяжелые нарушения функции печени выявлялись – у двух.

Клинико-терапевтические особенности больных с БА, абс.

Показатель	Оба пола	М*	Ж*
Клинические формы БА			
БА с ранним началом	15	6	9
БА с поздним началом	19	9	10
БА смешанного типа с наличием признаков сосудистой деменции	3	2	1
Степень деменции			
Умеренно выраженная	28	15	13
Тяжелая	9	2	7
Клинические проявления БА			
Галлюцинации, бред	13	7	6
Нарушения сна	12	8	4
Тревога, страхи	10	3	7
Агрессии, возбудимость	10	6	4
Депрессия	5	1	4
Нарушения высших корковых функций	11	5	6
Базисная (патогенетическая) терапия БА			
Реминил (галантамин)	27	13	14
Экселон (пластырь)	7	6	1
Акатинол Мемантин	3	3	–

Примечание. *М – мужчины, Ж – женщины.

Лечение Акатинолом Мемантином (глутаматергическая терапия) в сочетании с нейропротективной (нейротрофической) терапией церебролизином проводилось всего у трех больных и нерегулярно. Центральный холиномиметик глиатилин, положительно влияющий на когнитивные и повседневные функции [1], назначался всего двум больным.

Во всех случаях эффект от патогенетической терапии БА практически отсутствовал, что можно связать с малодифференцированным применением препаратов, менее трех месяцев и в низких дозах. При назначении лечения не учитывалась стадия деменции и другие психопатологические расстройства.

Выявленное позднее обращение за медицинской помощью больных и их родственников, очевидно, связано с низкой осведомленностью населения о БА. Как показал наш опрос 2236 жителей Чувашии, только 19% лично встречали больных со слабоумием, считая их «неизлечимыми, беспомощными и неполноценными». БА в ответах респондентов не встретилась ни разу [3]. Для населения республики в целом характерно позднее обращение за психиатрической помощью. Кроме того, в возрасте 60 лет и старше по всем основным группам психических расстройств наблюдается отчетливое (в 2-3 раза) снижение показателей болезненности по сравнению с группой больных в возрасте 50-59 лет. Это свидетельствует о недостаточном внимании со стороны амбулаторной психиатрической службы к больным пожилого и старческого возраста, досрочным снятием их с психиатрического наблюдения и плохим выявлением среди населения [2].

По общемировой статистике, число больных с деменцией увеличивается пропорционально возрастному составу населения. Чем старше население, тем больше таких больных выявляется в населении [1, 4, 7, 8]. Позднее установление диагноза БА врачами связано с гипердиагностикой сосудистой деменции и других форм ослабоумливающих заболеваний на этапе мягких когнитивных расстройств и легкой деменции.

По данным проведенного недавно зарубежного исследования, психотические расстройства при БА составляли 7,3%, увеличиваясь через каждые шесть месяцев в течение двух лет на 5,8, 10,6, 13,5 и 15,1%. Таким образом, психозы в начале БА наблюдаются в 68,7% случаев. Психозы являются фактором, снижающим адаптацию больных и увеличивающим риск смерти [10].

Анализ случаев БА выявил недооценку врачами холинергической, глутаматергической и нейропротективной стратегий лечения деменции. Авторитетные зарубежные [5, 6] и отечественные [1, 4] исследования подтверждают их эффективность при легкой и умеренной степенях БА. Хотя выздоровления не наступает, больным, получающим отмеченную выше терапию, удается дольше сохранять уровень самообслуживания и более высокий уровень качества жизни, доставлять меньше хлопот окружающим их людям. При этом отсутствуют доказательства эффективности пирацетама (других ноотропов), витамина Е, Ginkgo biloba, селегилина и других при БА и когнитивном снижении [5, 6]. Во многих анализируемых нами случаях лечения можно было наблюдать игнорирование врачами базисных принципов терапии, подробно и доходчиво описанных в [4].

К ограничениям нашего исследования следует отнести отсутствие посмертной (нейроморфологической) верификации выставленных больным диагнозов БА, ряда лабораторных и/или инструментальных исследований (например, МРТ/КТ проводилась в 14 случаях). Мы согласны с мнением С.И. Гавриловой в том, что только тщательный анализ всех анамнестических, клинико-динамических и параклинических данных позволяет поставить прижизненный диагноз БА [1].

Таким образом, анализ показал низкие показатели учета случаев БА психиатрической службой, позднюю диагностику в стадии выраженной деменции и не вполне адекватную терапию больных. Исправить создавшееся положение, вероятно, помогут организация геронтологического звена (кабинета) психиатрической службы республики с подготовкой соответствующих специалистов в ведущих центрах нашей страны, расширение и улучшение качества преподавание этих вопросов на этапах до- и последипломной подготовки специалистов, а также на курсах повышения квалификации врачей всех клинических специальностей.

Литература

1. *Гаврилова С.И.* Фармакотерапия болезни Альцгеймера. М.: Пульс, 2007. 360 с.

2. *Голенков А.В.* Исследования по психиатрии и наркологии в Чувашии: прошлое, настоящее и будущее // Здравоохранение Чувашии. 2008. № 1. С. 87-96.

3. *Голенков А.В.* Общественные предубеждения к психиатрии в Чувашии // Психическое здоровье. 2010. № 4. С. 42-46.

4. *Левин О.С.* Диагностика и лечение деменции в клинической практике. М.: МЕДпресс-информ, 2010. 256 с.

5. *Birks J.* Cholinesterase inhibitors for Alzheimer's disease // Cochrane Database Syst. Rev. 2006. Jan. Vol. 25, № 1.: CD005593.

6. *Evans J.G., Wilcock G., Birks J.* Evidence-based pharmacotherapy of Alzheimer's disease // Int. J. Neuropsychopharmacol. 2004. Sep. Vol. 7, № 3. P. 351-369.

7. *Reitz C., Brayne C., Mayeux R.* Epidemiology of Alzheimer disease // Nat. Rev. Neurol. 2011. Mar. Vol. 7, № 3. P. 137-152. doi: 10.1038/nrneurol.2011.2.

8. *Sosa-Ortiz A.L., Acosta-Castillo I., Prince M.J.* Epidemiology of dementias and Alzheimer's disease // Arch. Med. Res. 2012. Nov. Vol. 43, № 8. P. 600-608. doi: 10.1016/j.arcmed.2012.11.003.

9. *Spector A., Orrell M., Schepers A., Shanahan N.* A systematic review of knowledge of dementia outcome measures // Ageing Res. Rev. 2012. Vol. 11, № 1. P. 67-77.

10. *Vilalta-Franch J., López-Pousa S., Calvó-Perxas L., Garre-Olmo J.* Psychosis of Alzheimer Disease: Prevalence, Incidence, Persistence, Risk Factors, and Mortality // Am. J. Geriatr. Psychiatry. 2012. Sep 19. Vol. 20, № 9. [Epub ahead of print].

ГОЛЕНКОВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ. См. с. 397.

МАЛЫШКИНА ЮЛИЯ НИКОЛАЕВНА – клинический ординатор кафедры психиатрии, медицинской психологии и неврологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

MALYSHKINA YULIA NIKOLAEVNA – resident of Psychiatry, Medical Psychology and Neurology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СПОДИНА ЕКАТЕРИНА АЛЕКСЕЕВНА – клинический ординатор кафедры психиатрии, медицинской психологии и неврологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

SPODINA EKATERINA ALEKSEYEVNA – resident of Psychiatry, Medical Psychology and Neurology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УНДЕРОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ – клинический ординатор кафедры психиатрии, медицинской психологии и неврологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

UNDEROV DMITRIY ALEKSEYEVICH – resident of Psychiatry, Medical Psychology and Neurology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 577.118:546.28
ББК ЕОХ 807-641.2

В.С. ГОРДОВА, С.П. САПОЖНИКОВ, В.Е. СЕРГЕЕВА, П.Б. КАРЫШЕВ

ОСНОВЫ БИОСИЛИФИКАЦИИ (обзор литературы)

Ключевые слова: *биосфера, кремнезем, биосилификация, силикатеины, силиказы, транспортеры кремния*

Приведен обзор публикаций, посвященных аспектам биосилификации, протекающей в диатомовых водорослях, губках, растениях. Рассмотрены основные группы веществ, принимающих участие в биосилификации: силлафины, силикатеины, силиказы, транспортеры кремния.

V.S. GORDOVA, S.P. SAPOZHNIKOV, V.E. SERGEEVA, P.B. KARYSHEV

THE BASICS OF BIOSILICIFICATION (literature review)

Key words: *biosphere, biosilicification, silicateins, silicateins, silicases, Si transporters.*

A review of publications on the aspects of biosilicification occurring in diatoms, sponges, plants. The main groups of substances involved in biosilicification are considered: silaffins, silicateins, silicases, Si transporters.

С момента установления химического состава кремнезема в 1823 г. Й.Я. Берцелиусом прошло почти двести лет. За это время стало известно, что кремний является вторым по распространенности в земной коре элементом после кислорода, соединения кремния составляют 87% всей литосферы, а минералов, богатых кремнием, насчитывается более восьмисот [1].

Многие организмы способны к формированию аморфного кремнезема, однако обширный литературный материал, посвященный этой проблеме, является «достоянием» многих наук – ботаники, микробиологии, биохимии, физиологии. Биосилификация – это процесс, который необходимо рассматривать как в эволюционном, так и в сравнительном аспекте.

В природе минеральный кремний не встречается в элементном состоянии, в четырехвалентном состоянии (Si^{4+}) он входит главным образом в состав двуокиси кремния, ее гидрата – кремнезема ($SiO_2 \cdot nH_2O$), олиго- и поликремниевых кислот. В анионной форме Si присутствует в силикатах – солях

метакремниевой кислоты (H_2SiO_3). Диоксид кремния имеет большое число природных и искусственно полученных кристаллических и аморфных разновидностей (кварц, тридимит, кристобалит, яшмы, опал, коэсит, стишовит). Структурной основой природных соединений кремния являются кремнекислородные тетраэдры, из которых путем соединения через атомы кислорода на их вершинах образуются различные пространственные конструкции [1, 4].

Гидротермальные растворы содержат коллоидный кремнезем, образующийся в результате поликонденсации молекул ортокремниевой кислоты. Физические свойства водного кремнезема зависят от количественного соотношения между кремнеземом и водой. Водный кремнезем состава $SiO_2 \cdot 300H_2O$ – легкоподвижная жидкость, при соотношении $SiO_2 \cdot 10H_2O$ – ломкое вещество, $SiO_2 \cdot 6H_2O$, – твердое тело, легко измельчающееся в порошок. Процесс дегидратации геля приводит к равновесию между дисперсионными и водородными связями, по мере дегидратации сетка атомов геля сжимается, упрочняется и становится жёстче. При обычных условиях полная дегидратация обычно не достигается. Для этого требуются высокая температура и высокое давление. В природе кремнезём находится в аморфном состоянии и в нескольких кристаллических модификациях [1, 11].

Кремнийсодержащие минералы – полевые шпаты, слюды, оливины, пироксены и многие другие – присутствуют во всех важнейших горных осадочных и изверженных породах. Кремний содержится во всех водах, как пресных, так и соленых, спектрально кремний обнаружен на солнце [1, 4, 11].

К кремнистым породам относятся породы, сложенные кремнеземом хемогенного или хемобиогенного происхождения, а также скелетами и раковинами кремниевых организмов. Почвообразующее значение имеют трепела, опоки и диатомиты, значительно реже встречаются спонголиты и яшмы. Не вызывает сомнения, что диатомиты и спонголиты сложены биогенным кремнеземом (опалом). Происхождение других кремнистых пород – трепелов, опок, яшм – вызывает дискуссии. Однако современные исследования показывают, что кремнистые осадки на 90% образовались в биосфере в результате концентрационной функции живого вещества [4, 8].

Процесс биосилификации, или биологического формирования аморфного кремнезёма, довольно широко распространён в природе. Биосилификацию определяют как «движение ортокремниевой кислоты из окружающей среды, в которой ее концентрация не превышает порога растворимости (< 2 mM) во внутриклеточное или организменное пространство, в котором она аккумулируется с последующим осаждением в виде аморфного гидрата двуокиси кремния [4, 22].

Усваивать неорганический кремнезём из окружающей среды способны некоторые простейшие, диатомеи, губки, моллюски и высшие растения. Схема полимеризации кремния в высших растениях представлена на рис 1.

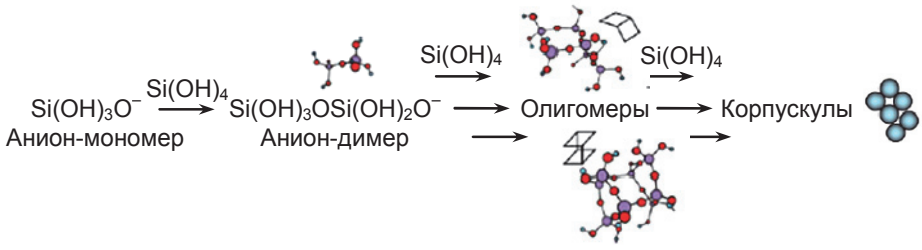


Рис. 1. Полимеризация мономеров
кремниевой кислоты в более крупные корпускулы кремнезема
путем промежуточных реакций конденсации димеров, олигомеров и агрегатов
(адаптировано из источника [17])

Гидробиогеохимическая ветвь круговорота кремнезема характерна для вод Мирового океана. Она осуществляется в основном жизнедеятельностью диатомовых водорослей, активных концентраторов кремнезема. Для гидробиогеохимического цикла свойственно исключительно биогенное осаждение кремнезема в форме скелетов диатомовых, в меньшей степени – радиолярий и спикул губок. Континентальная ветвь круговорота кремнезема сложна и богата разнообразными преобразованиями кремнийсодержащих соединений в природных ландшафтах, почвах, растительности, грунтовых водах. Биогенное осаждение диатомовых водорослей происходит в озерах и реках. Мощным механизмом круговорота кремнезема является растительный покров суши [2, 8].

Осаждение кремния и образование агломератов – это важный геохимический процесс, протекающий в океане и горячих источниках, и понимание процессов осаждения кремния может быть одним из ключевых моментов в описании ранних процессов формирования земной коры. Выделяют несколько путей биосилификации. Один из них, характерный для диатомовых водорослей, заключается в отложении соединений кремния внутри клеток, другой, описанный для фирмикутных бактерий, заключается в осаждении кремниевых соединений на поверхности клеточной стенки.

В поверхностных водах Мирового океана наблюдаются сезонные изменения содержания кремния, которые согласуются с динамикой развития фитопланктона и характеризуются уменьшением его концентрации в вегетационный период и возрастанием, прекращением ассимиляции, в осенний и зимний периоды. Такая зависимость объясняется тем, что фитопланктонные организмы извлекают кремний из поверхностных вод столь быстро, что возникающая в результате этого нехватка кремния начинает ограничивать их развитие. В результате вслед за сезонной вспышкой фитопланктона, потребляющего кремний, начинается бурное развитие «некремнистых» форм фитопланктона [1, 3, 12, 15].

Диатомовые водоросли – самая большая группа одноклеточных эукариотных микроводорослей, которые присутствуют практически в каждой водной среде. Это доминирующая группа фитопланктона океанов. Каждый из видов диатомовых водорослей, которых насчитывается более 10 тысяч, обладает кремнеземным панцирем с регулярно расположенными щелями размером от 10 до 1000 нм [29, 33, 34]. В основе клеточной стенки диатомовых находятся частицы диоксида кремния (SiO2, кремнезем) от 10 до 100 нм в диаметре. Материалом для формирования кремнезема служит ортокремниевая кислота $Si(OH)_4$, которая обычно присутствует в окружающей среде в концентрациях от десятков до сотен ммоль на литр и поступает в клетку при помощи белков – транспортеров кремния. У диатомовых водорослей есть белки-транспортеры кремния, способные «закачать» в клетку кремния до концентраций, в 250 раз превышающих его концентрацию в окружающей среде. Экспрессия генов белков-транспортеров кремния в ооцитах лягушки показала избирательность этих белков к химической форме растворенного кремния – связывается только кремниевая кислота – $Si(OH)_4$. В клетке кремниевая кислота превращается в аморфный гидратированный кремнезем при участии специальных пептидов, богатых лизином – силлафинов. Впервые эти полипептиды были обнаружены в диатомовых водорослях, клеточные стенки которых образуют «панцирь» из кремнезёма [33, 34].

При участии силлафинов возможно образование кремнезема различной наноструктуры в условиях in vitro при нейтральной pH и комнатной температуре. Для того, чтобы активировать процесс биосилификации, необходимо фосфорилирование силлафинов [29].

Облигатная потребность диатомовых водорослей в кремнии привела к эволюции неких кремнийзависимых ориентиров в ходе митоза, которые контролируют наличие кремния, в достаточном для построения дочерних створок

количестве. Такие ориентиры обнаружены на границах стадий G1/S и G2/M, что позволяет предполагать зависимость ДНК-полимеразы от кремния [34].

Сине-зеленые водоросли также способны к биоминерализации кремния [14].

Сравнение силлафинов диатомовых водорослей с последовательностями находящихся в базе белков показало, что белки, идентичные силаффинам на 30-40%, широко представлены в животном мире. Данные белки обнаружены в организме человека, в амебе, инфузории, плазмодиях, бактериях, водорослях, грибах, дрожжах, океанских червях, мушках, мышах, свиньях и других животных. Биологические функции этих белков разнообразны (связывание белков, связывание ионов металлов, трансферазная активность, протеолиз и др.), к ним в том числе относится и биоминерализация. Например, сиалофосфопротеины участвуют в формировании зубной ткани [5].

Кремнезем образуется также в речных и морских губках, но, в отличие от формирования кремнезема в диатомовых водорослях, происходящего с участием полиаминов, в губках этот процесс является ферментативным. Силикатеины – ферменты, выделенные из речных и морских губок. По химической природе силикатеины подобны протеолитическим ферментам – катепсинам, относящимся к классу цистеиновых пептидаз, но в каталитическом центре силикатеинов вместо цистеина находится серин. В губках силикатеины катализируют образование аморфного кремнезема из его мономерных соединений – эфиров кремниевой кислоты. В результате гидролиза эфира кремния происходит образование силанола с последующей полимеризацией его молекул и образованием аморфного кремнезема [21, 31].

Биотехнологический путь синтеза силикатеина на сегодняшний день является наиболее приемлемым способом получения этого белка, изучение функционирования силикатеина в растениях может быть полезно для понимания механизма образования упорядоченных кремниевых структур in vivo. Была предпринята попытка получения трансгенной клеточной культуры табака Nicotiana tabacum, экспрессирующих ген силикатеина LoSilA1 морской роговой губки Latrunculia oparina [6].

Проведенное К.С. Голохвастом компьютерное исследование показало, что высокогомологичные силикатеинам белки встречаются у многих животных, в том числе у амеб, актиний, гидр, моллюсков (прудовики, халиотисы), червей, жуков, рачков, омаров, мух, бабочек, ланцетников, рыб, лягушек, мышей, крыс, собак, свиней, быков, куриц, обезьян, людей. Например, типичные представители силикатеинов морских губок имеют достаточно высокий уровень (40-45%) идентичности с катепсинами человека. Степень гомологии между самими силикатеинами находится в пределах 40-62% [5].

Силиказы – ферменты, осуществляющие деполимеризацию кремнезема. Силиказа – представитель семейства угольных ангидраз относящихся к классу цинкзависимых металлоферментов, гидролизирующих эфиры [21, 30]. Силиказа является субстратзависимым ферментом – в ответ на увеличение концентрации кремния резко возрастает экспрессия соответствующего гена [5]. И силикатеины, и силиказы принимают участие в образовании спикул морской губки [21].

Поиск гомологов, осуществленный К.С. Голохвастом, показал, что практически все белки, идентичные силиказе губки, – это на 29-40% угольные ангидразы, найденные в организмах губок, нематод, мушек, рыб, лягушек, птиц, мышей, кроликов, быков, других животных, а также у человека. Предположительно, во всех организмах имеются белки и соответствующие гены, структурно функционально однотипные силиказе морской губки [5].

Фундаментальные исследования силиказ послужили основанием для развития прикладных аспектов. Был создан сельскохозяйственный препарат – кремнебактерин – на основе силикатных бактерий Bacillus mucilaginosus. Бак-

терии, содержащиеся в этом препарате, выделяя силиказу, поставляют тем самым кремний и другие макро- и микроэлементы из природных силикатов в ризосферу растений. Было показано, что кремнебактерин повышает ростовые параметры и устойчивость проростков гороха к гипотермии, способствует восстановлению их роста и развитию после действия холода, а микроорганизмы, входящие в состав изучаемого биопрепарата, проявляют адаптогенные свойства при воздействии на растения низкой температуры [13].

Обитающие в горячих источниках, содержащих большое количество растворенных соединений кремния, бактерии способны образовывать биопленку с кремниевыми включениями. Исследования, проведенные J.H. Saw и соавт., показали, что наличие в окружающей среде кремниевых соединений меняет экспрессию генов у термофильных бактерий – происходит метаболическая адаптация. При инкубации в растворе, состоящем из мономеров H_4SiO_4 и полимеризованной кремневой кислоты в концентрации 10,7 mM (300 ppm), у бактерий A. Flavithermus происходит увеличение синтеза 19 полиаминов с длинной цепью, а синтез 18 полиаминов снижается. В биопленке длинноцепочечные полипептиды служат белковой основой для образования полиаминно-кремниевых комплексов [18]. Связывание кремния с органическими компонентами объясняется несколькими механизмами. Три возможных из них – это фосфорилирование, карбоксилирование и гидроксильное замещение. Связывание силикат-аниона с клеточной стенкой бактерий может осуществляться непосредственно через положительно заряженные ионы D-аланина тейхоевых кислот клеточной стенки или через положительно заряженные аминокислотные группы пептидогликана или, опосредованно, путем присоединения к предварительно связанному с клеточной стенкой иону металла [18, 25].

Сведения о процессах биоминерализации в ресничных инфузориях были получены относительно недавно. Кремнийсодержащие гранулы проходят четыре стадии развития с участием аппарата Гольджи. В интерфазной клетке максимальная концентрация кремнийсодержащих гранул наблюдается в субапикальной части, что позволяет выдвинуть предположение о роли кремния в световой перцепции – исследуемые инфузории обладали положительным фототаксисом. Также роль кремния для инфузорий заключается в повышении прочности стенки цисты [20].

В природных растворах кремний присутствует в составе соединений, обладающих различными свойствами и, в зависимости от этих свойств, выполняющих разные функции. На основе анализа литературы и собственных данных В.В. Матыченковым установлены основные формы кремния, присутствующие в тканях растений, природных водах, грунтах, почвах и участвующие в биогеохимическом круговороте. Это монокремниевая кислота, олигомеры кремниевой кислоты, низкомолекулярные поликремниевые кислоты, высокомолекулярные поликремниевые кислоты, кремний-органические соединения, комплексные соединения кремниевой кислоты с органическими и неорганическими лигандами. Данные соединения предлагается объединить под термином «активные кремниевые соединения» [10].

Наиболее важными растворимыми формами кремния в растениях и системе почва–растение являются монокремниевая и поликремниевые кислоты. Эти неорганические соединения всегда присутствуют в природных водных растворах. Причем между ними существует тесная взаимосвязь [10]. На рис. 2 представлена схема взаимодействия кремнийсодержащих соединений.

Кремниевая кислота в щелочных растворах (pH > 8,0) существует в форме силиката (аниона метакремниевой кислоты – SiO32–). При pH 1-8 в разбавленных растворах (~0,1 мг Si/мл) устойчива растворимая в воде мономерная форма ортокремниевой кислоты – H_4SiO_4. При увеличении концентрации (в том же

диапазоне pH) ортокремниевая кислота полимеризуется, образуя олиго- и поликремниевые кислоты, и, наконец, переходит в коллоидное состояние. В клеточном соке растений по мере увеличения в нем содержания кремния наблюдается аналогичный процесс. Концентрация SiO_2 в почвенных растворах в среднем составляет 30-40 мг/л, а в клеточном соке «кремниефильных» растений – значительно выше. В клеточном соке мономерная ортокремниевая кислота превращается в гели $SiO_2 \cdot nH_2O$, которые откладываются на поверхности клеточных стенок, связываясь с полисахаридами и протеинами [7].

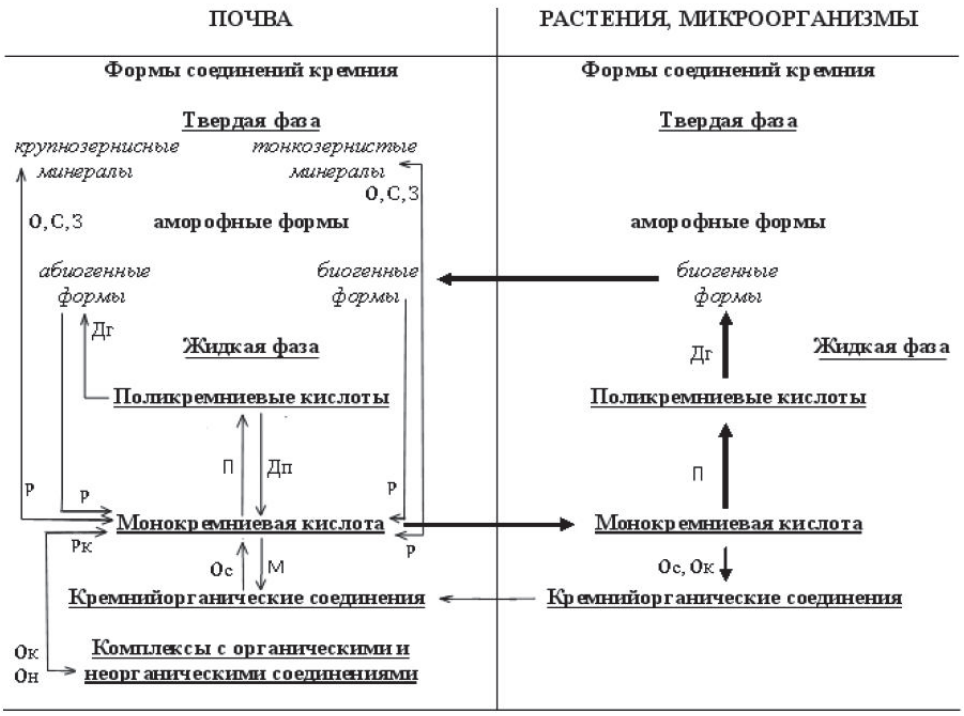


Рис. 2. Биогеохимический цикл кремния в системе почва–растение–микроорганизмы
Условные обозначения физико-химических процессов: О – осаждение; П – полимеризация; Дп – деполимеризация; Дг – дегидратация; С – солеобразование; З – замещение неорганических анионов; Ос – образование кремнийорганических соединений; Он – образование комплексов с неорганическими соединениями; Ок – образование комплексов с органическими соединениями; Рк – разрушение комплексов; М – минерализация кремнийорганических соединений [10]

В луговых и степных фитоценозах максимальное содержание органогенного кремния наблюдается в злаках, осоках и представителях семейства ситниковых. В лесных сообществах много кремния содержат листья папоротников, а самыми крупными его накопителями на лугах средней полосы являются представители семейства хвощей. Для растений зоны сухих степей характерно более высокое содержание полимерных форм кремния, что существенно отличает их от растительности средней полосы [7]. Например, из шести тонн различных минеральных веществ, которые аккумулирует в своей биомассе гектар густых зарослей тростника обыкновенного, 3700 кг (более 60%) приходится на кремний, в то время как на калий – 860 кг, на азот – 170 кг, на фосфор – 120 кг, на натрий – 450 кг, на серу – 280 кг [9].

Кремний повышает уровень сопротивляемости растений к стрессам различной природы, как биотическим, так и абиотическим. Например, механиче-

ская защита выражается в утолщении эпидермальных тканей, физиологическая – в ускорении роста и развития корневой системы, химическая – в связывании токсичных соединений, биохимическая – в увеличении биохимической устойчивости к стрессам [10, 19]. Это свойство кремния доказано не только для наземных, но и для водных растений на примере ламинарии [27]. Ученые разных стран приходят к одному и тому же выводу: кремний оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, повышает урожайность и устойчивость растений к стрессам [10, 16, 17, 19, 23, 24, 27]. Однако вопрос, какова связь кремния с сигнальными субстанциями, обеспечивающими регуляцию экспрессии различных генов при стрессах, остается открытым.

Японский исследователь Ма [23, 24, 26] показал, что у риса существуют специальные транспортные белки, отвечающие за транспорт кремния. В ДНК растения был обнаружен и определен фрагмент, отвечающий за синтез этих белков. Открыто более 100 различных белков, способных транспортировать ионы и кислоты кремния. Эти белки найдены в диатомовых водорослях, различных видах растений, таких как ячмень обыкновенный, кукуруза, клещевина обыкновенная, рис обыкновенный, мускатная тыква и другие [23, 24, 26, 27, 33]. Схема механизма переноса кремния в растениях представлена на рис 3.

Транспортные белки Lsi 1 и Lsi 2 локализованы в плазмолемме, но первый находится с дистальной стороны, а второй – с проксимальной. Lsi 1 закачивает кремний внутрь клетки из внешней среды с низкой концентрацией кремния, а Lsi 2, наоборот, выкачивает кремний из клетки в среду с высокой концентрацией кремния [23].

Показано, что гомологичные транспортерам кремня белки (гомология до 40%) содержатся во многих видах растений и животных – от одноклеточных до высших организмов, в том числе эти белки обнаружены и у человека [5].

Однако для процессов биосилификации в растениях недостаточно одних белков-транспортеров кремния. Опыты последних лет показали, что для полимеризации кремния необходим «механизм запуска». Так, что в процессах биосилификации, протекающих в хвоще, главная роль в запуске реакций биосилификации отводится каллозе [22]. Примечательно, что различные углеводы оказывают влияние на растворимость силикатов – например, в присутствии глюкозы растворимость повышается, в присутствии сукрозы – снижается [28].

Таким образом, для процессов биосилификации необходимы специфические белки-транспортеры и разнообразные ферменты. Антагонизм прослеживается как в ферментных (синтез-деполимеризация), так и в транспортных (закачивание-выкачивание) системах, что свидетельствует о возможности живых организмов приспосабливаться как к низким, так и к высоким концентрациям кремния во внешней среде. Кремний может не только включаться в метаболические пути, изменяя экспрессию генов, ответственных за синтез специфических ферментов, но и являться фактором, лимитирующим митотические процессы. Наличие во многих формах жизни ферментов, гомологичных силикатеинам и силиказа м, ставит вопрос о наличии «молчащих» генов и возможности утилизации кремнезема при изменении условий.

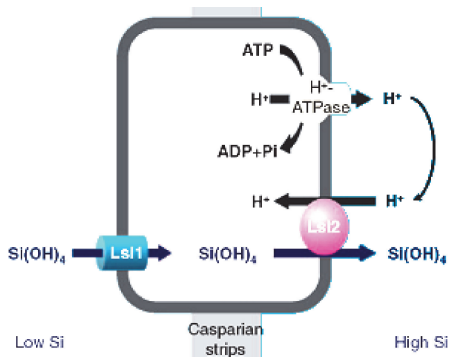


Рис. 3. Схема механизма переноса кремния в растениях [23]

Литература

1. *Айлер Р.А.* Химия кремнезема: в 2 ч.: пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 1. 416 с.
2. *Айлер Р.А.* Химия кремнезема: в 2 ч.: пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 2. 712 с.
3. *Безруков Ю. Ф.* Океанология. Ч. I. Физические явления и процессы в океане. Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 2006. 159 с.
4. *Воронков М.Г., Кузнецов И.Г.* Кремний в живой природе. Новосибирск: Наука, 1984. 157 с.
5. *Голохваст К.С.* Взаимодействие организмов с минералами / отв. ред. А.М. Паничев. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2010. 115 с.
6. *Каменев Д.Г.* Получение растений табака, экспрессирующих ген силикатеина морской роговой губки Latrunculia oparinae // Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии: материалы X регион. конф. студентов, аспирантов вузов и научных организаций Дальнего Востока России. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального ун-та, 2011. С. 107-111.
7. *Колесников М.П.* Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 301-332.
8. *Корсунов В.М., Красеха Е.Н.* Педосфера Земли. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2010. 472 с.
9. *Кроткевич П.Г.* К вопросу использования водоохранно-очистных свойств тростника обыкновенного // Водные ресурсы. 1976. № 5. С. 191-197.
10. *Матыченков В.В.* Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дис. … докт. биол. наук. Пущино, 2008. 34 с.
11. *Мышляева Л.В., Краснощеков В.В.* Аналитическая химия кремния. М.: Наука, 1972. 212 с.
12. *Овчинникова С.И., Широкая Т.А., Пашкина О.И.* Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000-2011 годы) // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 3. С. 544-550.
13. *Соколова М.Г., Акимова Г.П.* Адаптогенное влияние препаратов, содержащих ризосферные бактерии, на рост проростков гороха в условиях гипотермии // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. 2009. Вып. 3(18). С. 55-63.
14. *Сороковикова Е.Г, Лихошвай Е.В., Белых О.И., Титов А.Т.* Биоминерализация кремния цианобактериями из термальных источников // Происхождение и эволюция биосферы: тез. докл. Междунар. рабочего совещания (Новосибирск, 26-29 июня 2005 г.) / Институт катализа им. Г.К. Борескова. Новосибирск, 2005. С. 175-176.
15. *Хоружий Д.С., Коновалов С.К.* Кремний в водах Севастопольской бухты весной 2008 года // Морской гидрофизический журнал. 2010. № 3. С.40-51.
16. *Cai K., Gao D., Chen J., Luo S.* Probing the mechanisms of silicon-mediated pathogen resistance // Plant Signaling & Behavior. 2009. Vol. 4, № 1. P. 1-3.
17. *Currie H.A., Perry C.C.* Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies // Ann Bot. 2007. Vol. 100. P. 1383-1389.
18. Encapsulated in silica: genome, proteome and physiology of the thermophilic bacterium Anoxybacillus flavithermus / *J.H. Saw, W. Mountain Bruce, L. Feng, M.V. Omelchenko et al.* // Genome Biology. 2008. Vol. 9. P. R161.1-R161.12.
19. *Epstein E.* The anomaly of silicon in plant biology // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994. Vol. 91. P. 11-17.
20. *Foissner W., Weissenbacher B., Krautgartner W., Lütz-Meindl U.A.* Cover of Glass: First Report of Biomineralized Silicon in a Ciliate, *Maryna umbrellata* (Ciliophora: Colpodea) // J. Eukaryot. Microbiol. 2009. Vol. 56, № 6. P. 519-530.
21. Histochemical and Electron Microscopic Analysis of Spiculogenesis in the Demosponge *Suberites domuncula* / *C. Eckert, H.C. Schroeder, D. Brandt, S. Perovic-Ottstadt et al.* // J. of Histochemistry & Cytochemistry. 2006. Vol. 54, № 9. P. 1031-1040.
22. *Law C., Exley C.* New insight into silica deposition in horsetail (*Equisetum arvense*) // BMC Plant Biology. 2011. Vol. 11. P. 112.
23. *Ma J.F., Yamaji N., Mitani-Ueno N.* Transport of silicon from roots to panicles in plants // Proc. Jpn. Acad. 2011. Vol. 87. P. 377-385.
24. *Ma J.F., Yamaji N., Tamai K., Mitani N.* Genotypic Difference in Silicon Uptake and Expression of Silicon Transporter Genes in Rice // Plant Physiology. 2007. Vol. 145. P. 919-924.
25. *Mera M.U., Beveridge T.J.* Mechanism of Silicate Binding to the Bacterial Cell Wall in Bacillus subtilis // J. of Bacteriology. 1993. Vol. 175, № 7. P. 1936-1945.
26. *Mitani-Ueno N., Yamaji N., Ma J.F.* Silicon efflux transporters isolated from two pumpkin cultivars contrasting in Si uptake // Plant Signaling & Behavior. 2011. Vol. 6, № 7. P. 991-994.
27. *Mizuta H., Yasui H.* Protective function of silicon deposition in *Saccharina japonica* sporophytes (Phaeophyceae) // J. Appl. Phycol. 2012. Vol. 24. P. 1177-1182.
28. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces / *B.J. Smith, A. Rawal, G.P. Funkhouser, L.R. Roberts et al.* // PNAS. 2011. Vol. 108. P. 8949-8954.
29. *Poulsen N., Sumper M., Kröger N.* Biosilica formation in diatoms: Characterization of native silaffin-2 and its role in silica morphogenesis // PNA. 2003. Vol. 100, № 21. P. 12075-12080.
30. Silicase, an enzyme which degrades biogenous amorphous silica: contribution to the metabolism of silica deposition in the demosponge Suberites domuncula / *H.C. Schroeder, A. Krasko, G. Le Pennec, T. Adell et al.* // Prog. Mol. Subcell. Biol. 2003. Vol. 33. P. 249-268.

31. Silicatein filaments and subunits from a marine sponge direct the polymerization of silica and silicones in vitro / *J.N. Cha, K. Shimizu, Y. Zhou et al.* // Proc. Natl. Acad. Sci. 1999. Vol. 96. P. 361-365.

32. Silicateins, the major biosilica forming enzymes present in demosponges: Protein analysis and phylogenetic relationship / *W.E.G. Mueller, A. Boreiko, X. Wang et al.* // Gene. 2007. Vol. 395. P. 62-71.

33. *Thamatrakoln K., Hildebrand M.* Silicon Uptake in Diatoms Revisited: A Model for Saturable and Nonsaturable Uptake Kinetics and the Role of Silicon Transporters // Plant Physiology. 2008. Vol. 146. P. 1397-1407.

34. *Zurzolo C., Bowler C.* Exploring Bioinorganic Pattern Formation in Diatoms. A Story of Polarized Trafficking // Plant Physiology. 2001. Vol. 127. P. 1339-1345.

ГОРДОВА ВАЛЕНТИНА СЕРГЕЕВНА – ассистент кафедры медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (crataegi@rambler.ru).

GORDOVA VALENTINA SERGEEVNA – assistant of Medical Biology Chair with the Microbiology and Virology Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

САПОЖНИКОВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ. См. с. 359.

СЕРГЕЕВА ВАЛЕНТИНА ЕФРЕМОВНА. См. с. 370.

КАРЫШЕВ ПАВЕЛ БОРИСОВИЧ – старший преподаватель кафедры общей и клинической патологии с курсом судебной медицины, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (pkarmol@mail.ru).

KARYSHEV PAVEL BORISOVICH – senior teacher of General and Clinic Pathology Chair with the Course of Forensic Medicine, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 618.177-07
ББК 57.161.2-8

Т.Г. ДЕНИСОВА, Э.Н. ВАСИЛЬЕВА, Е.В. ПОРТНОВА

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОФИЛАКТИКЕ ИНТРАНАТАЛЬНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ

Ключевые слова: *беременность, роды, программирование родовой деятельности, интранатальная профилактика осложнений.*

Своевременная и адекватная подготовка беременных к родам, выбор способа подготовки родовых путей, достижение эффекта зрелой шейки матки позволяют рассчитывать на самостоятельное начало родовой деятельности и значительно снизить акушерский травматизм. Представлен анализ применения разработанной и апробированной методики программированного ведения родов у женщин группы высокого риска перинатальных осложнений, показаны преимущества использования программированного ведения родов – снижение уровня экстренных операций кесарева сечения и аномалий родовой деятельности, осложнений у новорожденных.

T.G. DENISOVA, E.N. VASILYEVA, E.V. PORTNOVA

THE NEW APPROACHES TO PREVENTION OF INTRANATAL COMPLICATIONS

Key words: *pregnancy, childbirth, programming delivery, prevention of the intranatal complications.*

Timely and adequate preparation of pregnant women for childbirth, the choice of the method of preparation maternal passages, the achievement of the cervical mature effect allows counting on independently beginning of the labor and significantly reduce the obstetrical injuries. Presented the analysis of the use of programmed methods of delivery in the group of women with the high risk of perinatal complications, shown the advantages of using the programmed methods of delivery.

Демографические проблемы для России в настоящее время имеют важное геополитическое значение, и сохранение здоровья каждого ребенка – будущего гражданина России – это особая стратегическая и в высшей степени приоритетная задача государства [1, 3].

Федеральные целевые программы охраны материнства и детства нацеливают на необходимость разработки адекватных технологий управления здоровьем беременных женщин, мероприятий по ранней пренатальной диагностике

и профилактике осложнений течения беременности и антенатальной охране плода [1, 4, 10].

В условиях неудовлетворительных показателей здоровья населения чрезвычайно актуальное значение приобретает задача пренатальной профилактики и диагностики, а также разработка мероприятий по антенатальной и интранатальной охране плода, особенно среди женщин группы высокого риска [4, 5, 7]. Своевременная и адекватная подготовка беременных к родам, выбор способа подготовки родовых путей, достижение эффекта зрелой шейки матки позволяют рассчитывать на самостоятельное начало родовой деятельности и значительно снизить акушерский травматизм [2, 6, 11].

Актуальность данного вопроса обусловливается интранатальными потерями, ранней неонатальной смертностью, высоким уровнем травматизма матери и плода, высокой степенью детской инвалидности.

В настоящее время в целях повышения качественных показателей состояния здоровья новорожденных и профилактики заболеваемости в раннем и позднем неонатальном периодах прогнозированию и программированию родового процесса отводится ведущая роль [8, 9, 12].

Целью исследования явилось обоснование программированного ведения родов у женщин группы риска интранатальных осложнений.

Материалы и методы исследования. Нами разработана и предложена методика программирования и ведения родов у женщин группы риска интранатальных осложнений. Согласно этой методике женщины при сроке 37-38 недель должны быть госпитализированы в акушерский стационар, где беременная тщательно обследуется.

Течение беременности, родов и перинатальные исходы изучались у 80 женщин с доношенной беременностью. Основную группу составили 40 пациенток группы риска в возрасте от 19 до 37 лет (в среднем 26,5±1,2 года), у которых применялись медикаментозные средства для подготовки шейки матки с последующей индукцией родов в 38 недель беременности. Необходимым условием для проведения подготовки шейки матки к родам и родовозбуждения являлось получение информированного согласия пациентки. Группу сравнения составили 40 беременных группы риска, отказавшиеся от предложенной методики.

Для подготовки шейки матки к родам использовался мифепристон – синтетический антигестаген, который блокирует действие прогестерона на уровне рецепторов, вызывает активную миграцию лимфоцитов и макрофагов в ткань миометрия, увеличивает секрецию иммунокомпетентными клетками, вызывает повышение активности лизосомального аппарата миоцитов, увеличивает активность металлопротеиназ, в результате чего происходят перестройка межклеточного матрикса и созревание шейки матки. Оценка «зрелости» шейки матки проводилась по шкале Бишопа. Мифепристон принимался в дозе 200 мг беременным, у которых оценка по Бишопу была ниже четырех баллов. Препарат принимался в присутствии врача. На следующий день для дальнейшей подготовки и индукции родов после повторной оценки шейки матки по Бишопу шейку матки и влагалище обрабатывали антисептическим раствором, после чего в цервикальный канал или интравагинально вводили пропедил-гель. Введение простагландина Е2 приводит к «созреванию» шейки матки и вызывает сокращения миометрия как пусковой момент для начала родов. Во время подготовки к родам велось динамическое наблюдение за состоянием беременных через 4 ч, измерялись артериальное давление, пульс, температура тела, при необходимости вводились спазмолитические, а на ночь – седативные препараты. Проводилось мониторирование сотояния плода и родовой деятельности. В 92,5% через 12 ч начиналась спонтанная родовая деятельность. У остальных была произведена амниотомия при «зрелой» шейки матки, после чего через

2-3 ч начиналась родовая деятельность. В тех случаях, когда возникало нарушение родовой деятельности, проводилась коррекция с помощью перидуральной анестезии и родостимуляции окситоцином путем капельного введения в общепринятых дозах с помощью инфузомата.

Для суждения о статистической значимости различий между двумя группами в связи с небольшим количеством наблюдений и невозможностью оценить нормальность распределения применяли непараметрический критерий Манна–Уитни согласно рекомендациям Е.В. Гублера. Статистическую значимость различий, сравниваемых по качественным признакам, оценивали по критерию χ^2 либо (при малом числе наблюдений) по точному критерию Фишера.

Для оценки силы связи альтернативных признаков применяли коэффициент ассоциации Юла по формуле

$$\text{Коэффициент ассоциации Юла} = \frac{ad - bc}{ad + bc},$$

где *a*, *b*, *c*, *d* – частоты взаимного распределения признаков.

Для расчета бралась матрица взаимного распределения частот (таблица). При прямой связи частоты сконцентрированы по диагонали *a*-*d*, при обратной связи – по диагонали *b*-*c*, при отсутствии связи частоты практически равномерно распределены по всему полю таблицы.

Матрица взаимного распределения частот

2-й признак	1-й признак	
	ДА	НЕТ
ДА	*a*	*b*
НЕТ	*c*	*d*

По матрице взаимного распределения частот (таблица 2×2) вычислялись относительный риск и отношение рисков при наличии неблагоприятных факторов по следующим формулам:

$$\text{Относительный риск} = \frac{a \times (c + d)}{(a + b) \times c};\ \text{Отношение шансов} = \frac{a \times d}{b \times c}.$$

Статистическую значимость различий распределения частот (таблица 2×2) рассчитывали по критерию χ^2. Вероятность ошибки обозначили символом *p*. Различия между выборками считались статистически значимыми при $p < 0{,}05$.

Для определения силы связи между количественными показателями и ее направленности проводили корреляционный анализ. Коэффициент параметрической корреляции находили по Пирсону (*r*). Если распределение отличалось от нормального либо невозможно было оценить нормальность распределения (малое число наблюдений), использовали коэффициент непараметрической корреляции по Спирмену (r_S). Статистическая значимость коэффициентов корреляции считалась приемлемой при $p < 0{,}05$.

Статистический анализ работы выполнен на персональном компьютере IBM PC/AT с использованием статистических программ в среде Excel 97.0 и Statistica for Windows 6.0 (программный продукт компании «StatSoft», США). В основу работы в программе Statistica были положены методики данной программы.

Результаты исследования и их обсуждение. У беременных в группе риска при некрупном плоде и соответствии размеров головки плода размерам таза использовались адекватная подготовка к родам, достижение эффекта зрелой шейки матки, активная тактика ведения родов, позволяющие снизить частоту клинического несоответствия таза матери и головки плода, осложнения родов и послеродового периода, а также уровень травматизма в родах для плода.

Необходимо отметить, что аномалии родовой деятельности при ведении родов по разработанной нами методике были зафиксированы в 3 случаях (7,5%). В остальных случаях проводимая медикаментозная терапия была эффективной, в результате наблюдалась хорошая родовая деятельность, течение первого пе-

риода родов у первородящих составило 6-8 ч, у повторнородящих – 5-6 ч, за счет укорочения латентной фазы, что отображено на партограмме (рис. 1, 2).

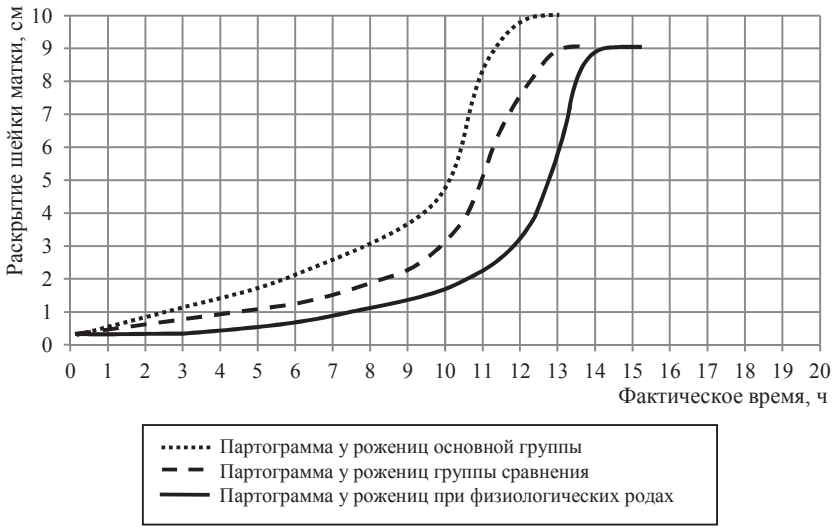


Рис. 1. Партограмма у женщин при программированном ведении родов и группы сравнения (первородящие)

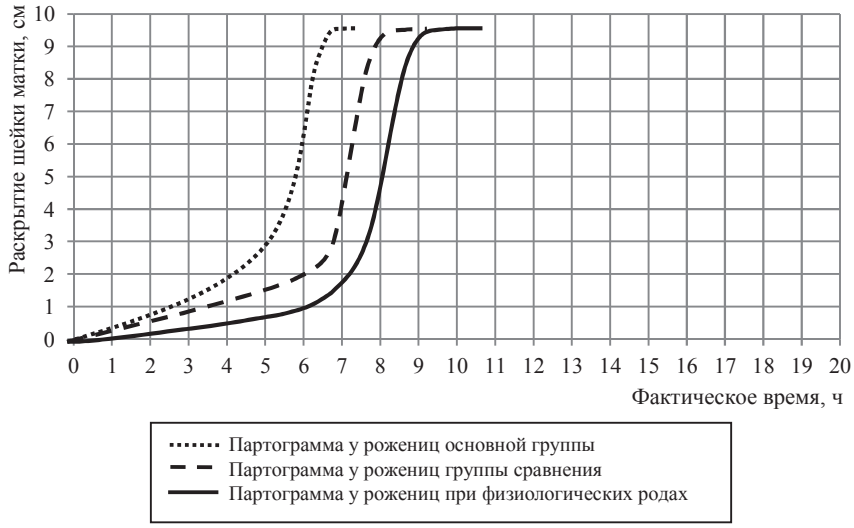


Рис. 2. Партограмма у женщин при программированном ведении родов и группы сравнения (повтонородящие)

В группе сравнения первый период родов составил 12-14 ч, у 15 (37,5%; $p < 0,01$) женщин зафиксирована слабость родовой деятельности, которая корригировалась внутривенным введением окситоцина через инфузомат. В двух случаях (5%) медикаментозная коррекция оказалась неэффективной, и роды закончились операцией кесарева сечения.

Состояние рожениц в первом периоде родов было удовлетворительным (пульс 78-82 уд./мин, артериальное давление 115/80-125/90 мм рт. ст., частота

дыхания 19-23 в мин, температура тела в пределах 36,5-36,8°С). Мониторирование сердечной деятельности плода в родах у женщин исследуемой группы достоверно не отличалось от данных мониторирования сердечной деятельности плода женщин контрольной группы. У одной женщины основной группы была диагностирована острая гипоксия плода, в связи с чем роды закончились операцией кесарева сечения.

Во втором периоде родов у первородящих основной группы наблюдалась хорошая продуктивная потужная деятельность. В результате второй период родов длился от 35 до 50 мин. В 30% были травмы родовых путей (разрывы шейки матки, стенок влагалища, промежности и вульвы). Эпизиотомия была произведена в 25% случаев. У повторнородящих при применении данной методики также было зарегистрировано укорочение второго периода родов.

У 3 (7,5%) рожениц группы сравнения была выявлена слабость потуг, наблюдалось удлинение потужного периода до 90 мин. Травма родовых путей (разрывы шейки матки, влагалища и промежности) отмечалась – у 45% ($p < 0,01$) женщин, эпизиотомия была произведена – у 52,5% ($p < 0,01$) женщин.

Третий период родов у женщин основной группы протекал благополучно, кровопотеря в родах соответствовала физиологической норме (0,25-0,30% от массы тела) – у 87,5% ($p < 0,01$), максимально допустимая кровопотеря была зарегистрирована в 10% случаев ($p < 0,01$), у 1 (2,5%) наблюдалось гипотоническое кровотечение в раннем послеродовом периоде. В позднем послеродовом периоде осложнениями были субинволюция матки у 7,5% и анемия – у 30% ($p < 0,01$).

У женщин группы сравнения наиболее частым осложнением было гипотоническое кровотечение – у 10%, максимально допустимая кровопотеря была зарегистрирована в 22,5% случаев ($p < 0,01$). В позднем послеродовом периоде наиболее часто отмечалась субинволюция матки – у 27,5% ($p < 0,01$), анемия – у 52,5% ($p < 0,01$), эндометрит – у 3 (7,5%).

Нами было зафиксировано, что уровень осложнений в родах у женщин группы риска, к которым была применена методика программирования родовой деятельности, намного ниже, чем в группе сравнения.

У женщин группы сравнения (женщины группы риска к которым методика программирования родов не применялась) частота оперативного родоразрешения составила 12,5% ($p < 0,01$), показаниями к операции были аномалии родовой деятельности (5%), клинически узкий таз (5%), острая гипоксия плода (5%).

В результате применения методики программирования родовой деятельности частота экстренного кесарева сечения снизилась в 5 раз. При безводном периоде менее 12 ч операция кесарева сечения производилась интраперитонеально, при безводном периоде более 12 ч, наличии хорионамнионита или других воспалительных изменений производилось суправезикальное экстраперитонеальное кесарево сечение или кесарево сечение с предварительной изоляцией брюшной полости.

Уровень анемий у женщин основной группы меньше в 1,75 раза, чем у женщин группы сравнения. Субинволюция матки в основной группе отмечалась в 3,7 раза реже. Установлено, что гипотонические кровотечения в группе сравнения встречались в 4 раза чаще.

Применение методики программирования, кроме снижения уровня осложнений у женщин в родах и послеродовом периоде, позволило снизить родовой травматизм новорожденных, что, безусловно, отразилось на течении раннего и позднего неонатального периода.

В результате ведения родов по предложенной нами методике наблюдались следующие перинатальные исходы: в удовлетворительном состоянии

родилось 85% детей ($p < 0,01$) (8-10 баллов по шкале Апгар); в состоянии гипоксии легкой степени – 7,5% ($p < 0,01$); средней степени тяжести – 2 (5%); тяжелой – 1 (2,5%); интранатальных, ранних неонатальных потерь, тяжелого травматизма новорожденных не зарегистрировано.

Патологии новорожденных, непосредственно или косвенно связанной с родовым травматизмом, не выявлено.

При оценке состояния новорожденных детей в группе сравнения было установлено: в удовлетворительном состоянии – 65% детей ($p < 0,01$); с гипоксией легкой степени – 22,5% ($p < 0,01$); средней степени тяжести – 3 (7,5%); тяжелой степени – 2 (5%).

Сравнительный анализ состояния новорожденных выявил, что у новорожденных основной группы гипоксия плода наблюдалась в 2,3 раза реже, чем аналогичный показатель в группе сравнения.

Среди травматических осложнений у новорожденных в основной группе отмечены: синдром гипервозбудимости у 25% ($p < 0,01$), кожногеморрагический синдром у 4 (10%), кефалогематома у 3 (7,5%). Отсутствовали судорожный синдром, ВЖК, перелом ключицы и шейно-радикулярный синдром.

В группе сравнения у новорожденных было выявлено: синдром гипервозбудимости в 2,5 раза чаще (62,5%; $p < 0,01$), кожногеморрагический синдром в 2 раза чаще (20%; $p < 0,01$), кефалогематома в 2 раза чаще (15%; $p < 0,01$), у 4 (8%) новорожденных отмечены ВЖК, перелом ключицы у 3 (6%), шейно-радикулярный синдром у 4 (8%), судорожный синдром у 3 (6%).

У женщин группы риска высок процент неблагоприятных перинатальных исходов. Необходимо проводить профилактические мероприятия, направленные на снижение уровня интранатальных осложнений. Проблема ведения родов требует высокого профессионального мастерства в плане не только прогноза функциональной состоятельности малого таза, но и оптимального родоразрешения, построенного на новейших данных. Программирование родов обеспечивает полноценную готовность всех отделов репродуктивной системы (подкорковые центры, гипофиз, рецепторы эндометрия и мягких тканей родового канала) к родам.

При программированном активном ведении родов снижается уровень экстренных оперативных вмешательств в конце первого и во втором периоде родов, осложнений в родах и послеродовом периоде у женщин, а также уменьшается процент осложнений состояния новорожденного в раннем и позднем неонатальных периодах, что, конечно же, влияет на уровень заболеваемости и смертности новорожденных в период младенчества.

Литература

1. Акушерство. Национальное руководство / под ред. В.И. Кулакова, Э.К. Айламазян, В.Е. Радзинского. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 1200 с.

2. *Васильева Э.Н.* Прогнозирование и программирование родовой деятельности у женщин с индивидуальными особенностями строения костного таза: дис. ... канд. мед. наук. Казань, 2009. 126 с.

3. *Дистлер В., Рин А.* Неотложные состояния в акушерстве и гинекологии / пер. с нем. под ред. В.Е. Радзинского. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 416 с.

4. Клинический опыт программирования родов у женщин с индивидуальными особенностями строения костного таза / *Л.И. Герасимова, Т.Г. Денисова, Э.Н. Васильева и др.* // Практическая медицина. 2009. № 34. С. 82-84.

5. Подготовка шейки матки к программированным родам: медицинская технология / *В.И. Краснопольский, В.Е. Радзинский, Н.В. Башмакова и др.* М.: Медиабюро «StatusPraesens», 2010. 22 с.

6. Подготовка шейки матки к родам и родовозбуждению: клинический протокол / *О.Р. Баев, В.П. Румянцева, Н.Е. Кан и др.* М.: Медиабюро «Status Praesens», 2012. 16 с.

7. Программированные роды у женщин с высоким перинатальным риском: информационное письмо / *В.И. Краснопольский, В.Е. Радзинский, Л.С. Логутова и др.* М.: Медиабюро «Status Praesens», 2009. 32 с.

8. *Радзинский В.Е.* Акушерский риск. М.: ЭКСМО, 2009. 288 с.

9. Failure of cervical ripening with prostaglandin – E2 can it be predicted? / *N. Melamed, A. Ben-Haroush, S. Kremer et al.* // J. Matern Fetal. Neonatal Med. 2010. Vol. 23, № 6. P. 536-540.

10. Mechanical methods for induction of labour / *M. Boulvain, A.J. Kelly, C. Lohse et al.* // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2009. Issue 1.
11. Quality of life of caregivers of very low-birthweight infants / *P.K. Donohue, E. Maurin, L. Kimzey et al.* // Birth. 2008. Vol. 35(3), Sep. P. 212-219.
12. WHO recommendation for induction of labour. Geneva: WHO Press, 2011.

ДЕНИСОВА ТАМАРА ГЕННАДЬЕВНА – доктор медицинских наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (tomadenisova@rambler).
DENISOVA TAMARA GENNADEVNA – doctor of medical sciences, professor of Gynecology and Obstetrics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ВАСИЛЬЕВА ЭЛЬВИРА НИКОЛАЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии, Чувашский государственный университет; заведующая акушерским отделением, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары.
VASILYEVA ELVIRA NIKOLAEVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Gynecology and Obstetrics Chair, Chuvash State University, head of Obstetrical Department, Municipal Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

ПОРТНОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА – ассистент кафедры акушерства и гинекологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.
PORTNOVA ELENA VLADIMIROVNA – assistant of Gynecology and Obstetrics Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 618.14-006-073.43
ББК Р569.714.1-433

В.Н. ДИОМИДОВА, О.В. ВАЛЕЕВА, О.В. ЗАХАРОВА, М.В. КОНЬКОВА, А.И. ИЩЕНКО, Т.В. ЧАМЕЕВА, Е.Н. СЕМЕНОВА

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ЭХОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ МАТКИ И ЕЕ ПРИДАТКОВ*

Ключевые слова: *ультразвуковая диагностика, доплерография, воспалительные, доброкачественные заболевания матки и ее придатков.*

Представлены возможности комплексной ультразвуковой доплерографии в диагностике заболеваний органов малого таза. Установлено, что доплерография может использоваться как метод, позволяющий провести эхографическую дифференциальную диагностику доброкачественных и опухолевидных образований яичников, а также различных видов патологии матки.

V.N. DIOMIDOVA, O.V. VALEEVA, O.V. ZAKHAROVA, M.V. KONKOVA, A.I. ISHCHENKO, T.V. CHAMEEVA, E.N. SEMENOVA
THE POSSIBILITIES OF INTEGRATED DOPPLER ULTRASONOGRAPHY IN THE DIAGNOSES OF THE UTERUS AND ITS APPENDAGES BENIGN DISEASES

Key words: *ultrasound, doppler, inflammatory, the uterus and its appendages benign diseases.*

Possibilities of integrated Doppler ultrasonography in the diagnosis of diseases of the pelvic organs. Found that the Doppler can be used as a method to conduct sonographic differential diagnosis of benign and tumor-like formations of the ovaries, as well as various types of uterus pathology.

Доброкачественные заболевания в полости малого таза – одна из наиболее частых патологий, встречающихся у женщин репродуктивного, пременопаузального и постменопаузального возраста. Отсутствие симптоматики не только на ранних, но часто и на поздних стадиях заболевания во многих случаях приводит к несвоевременному выявлению патологического процесса [1, 7, 11].

С внедрением в клиническую практику новых неинвазивных методов исследования, в том числе цветового доплеровского картирования (ЦДК), стало возможным более раннее выявление опухолей [2, 3, 5].

A. Kurjak и соавт. [18], T. Bourne [13] одними из первых сообщили, что при проведении трансвагинальной цветовой доплерографии была обнаружена вы-

* Исследование выполнено по госконтракту 14.B37.21.1517 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

раженная разница доплерометрических показателей в доброкачественных и злокачественных новообразованиях. Данные об информативности пороговых значений индексов при проведении дифференциального диагноза доброкачественного и злокачественного новообразования остаются противоречивыми. Одни авторы [5, 8, 9] высоко оценивают их диагностические возможности, не признавая эффективности показателей скорости, другие предлагают все делать наоборот [18]. Большая группа исследователей склоняется к тому, что только комплексное использование анамнестических данных, различных ультразвуковых методов, а также биохимических онкомаркеров и маркеров ангиогенеза приводит к реальному повышению точности диагностики [4, 6, 8, 10, 13, 15]. Тем не менее исследование кровотока в сосудах при различных заболеваниях имеет свои характерные особенности, что позволяет считать метод ЦДК важным в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных процессов [12].

ЦДК позволяет оценить три параметра кровотока одновременно: направление, скорость и характер потока (однородность и турбулентность). Высокая разрешающая способность современных аппаратов дает возможность в режиме энергетического доплера визуализировать кровоток в мельчайших сосудах вплоть до системы микроциркуляторного русла, невидимых при сканировании в В-режиме [2, 6, 10]. Исследование характера васкуляризации матки и ее придатков при различных заболеваниях доплеровскими методами открывает большую перспективу в их неинвазивной дифференциальной диагностике по степени злокачественности, а также в прогнозировании быстроты роста опухоли [8, 10, 15].

Цель работы – повышение качества диагностики патологических состояний матки и придатков путем выявления дифференциально-диагностический критериев наиболее часто встречающихся доброкачественных заболеваний при помощи комплексного эхографического обследования.

Материалы и методы исследования. В исследовании участвовали 75 пациенток, из которых у 15 не было хронических заболеваний матки и ее придатков, они были отнесены к первой группе здоровых женщин репродуктивного возраста, вторую группу составляли 15 женщин с воспалительными заболеваниями матки и яичников, третью – 15 женщин с миомой матки, четвертую группу – 15 женщин с негравидарной гиперплазией эндометрия, пятую группу составляли 15 женщин, находящихся в постменопаузе. Возраст пациенток варьировал от 23 до 82 лет.

Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате Medison Acuvix V10 в различных режимах ультразвуковой визуализации. Комплексное ультразвуковое обследование включало эхографию в режиме серой шкалы, доплерометрию маточных, яичниковых артерий на разных уровнях исследования, цветовое и энергетическое сканирование, скрининговое исследование органов брюшной полости и забрюшинного пространства.

Для изучения состояния гемодинамики органов малого таза у женщин применяли преимущественно трансвагинальный доступ при комплексном использовании цветового и спектрального доплеровских режимов.

Доплерографическое исследование включало: визуализацию и определение хода внутри- и внеорганных сосудов, оценку степени васкуляризации, качественные характеристики спектра кровотока, оценку скоростных показателей и угол независимых индексов (индекса резистентности, индекса пульсативности).

Результаты исследования и их обсуждение. У женщин репродуктивного возраста кровоток в маточных и аркуатных артериях регистрировался в 85% случаев, базальных – в 60%. В постменопаузальном периоде сосудистый рисунок матки был значительно обеднен.

Визуализация маточных артерий вследствие малого диаметра, извитого хода, выраженной вариабельности локализации в некоторых исследованиях была затруднена. Наиболее четко изображение маточных артерий удавалось получить при поперечном сканировании области внутреннего зева. Маточные арте-

рии, проникая в миометрий, делятся, формируя аркуатные артерии (рис. 1). В субэндометриальном слое находятся базальные артерии, которые в эндометрии делятся на спиральные артерии.

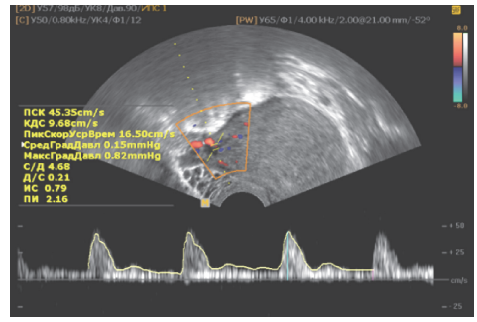


Рис. 1. Триплексное исследование маточных артерий

Ветви маточной вены визуализировались при сканировании боковых поверхностей матки, гемодинамику оценивали при получении их четкого изображения дистальнее маточно-влагалищных сплетений. В В-режиме оценивали геометрию сосудов, их диаметр, наличие пульсации и состояние сосудистой стенки. При использовании режима цветового доплеровского картирования определяли проходимость сосудов, наличие зон турбулентности и регургитации. В режиме спектрального доплера оценивали фазность доплеровской кривой, ее синхронность с актом дыхания, определяли количественные показатели кровотока. Диаметр сосудов варьировал от 3,8 до 7,5 мм, среднее значение максимальной скорости кровотока (МАС) составляло справа – 12,3±3,7 см/с, слева 10,8±3,7см/с.

Маточные ветви маточных вен четко лоцировались в боковых краях матки в виде извитых сосудов диаметром от 3 до 5 мм, равномерно заполняемых цветом, в спектральном режиме регистрировался двухфазный кровоток, синхронизированный с дыханием, средними значениями пиковой систолической скорости кровотока 6,3±2,2 см/с.

Визуализация венозных сосудов миометрия затруднена из-за особенности строения вен миометрия и сократительных движений самого миометрия. В режиме ЦДК визуализируемые фрагменты сосудов миометрия равномерно заполняются цветом, при использовании спектрального доплеровского режима в аркуатных венах миометрия выявляется монофазный кровоток с пиковой систолической скоростью кровотока 8,87±3,4 см/с (рис. 2).

В наших наблюдениях венозное русло миометрия не удалось визуализировать у 68,4% женщин в постменопаузальном периоде длительностью более 5 лет, в проекции аркуатных сосудов лоцировались линейные гиперэхогенные структуры, вероятно обусловленные петрификацией сосудистых стенок в этом возрасте.

При доплерографии матки практически здоровых женщин репродуктивного возраста показатели скорости и резистентности кровотока менялись в зависимости не только от калибра сосуда, но и от фазы менструального цикла.

Показатели макисмальной систолической скорости кровотока незначительно увеличивались в течение всей пролиферативной и ранней секреторной фаз и возрастали в период расцвета желтого тела (до 38,6±2,2 см/с), снова снижаясь в период его угасания (16,4± ±1,2 см/с). Показатели индекса периферического сопротивления в овулирующем яичнике почти не менялись в течение всей пролиферативной фазы, но резко снижались после овуляции, достигая минимума к расцвету желтого тела (0,56±0,02), а затем снова повышались к концу менструального цикла (0,82±0,04). Эхоструктура, а также качественные и

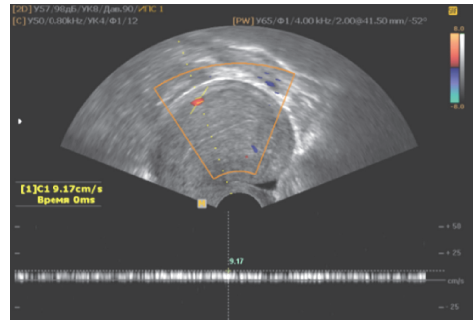


Рис. 2. Триплексное исследование вен миометрия

количественные показатели васкуляризации неовулировавшего яичника практически не менялись в течение всего менструального цикла. В постменопаузе размеры правого и левого яичников в нашем исследовании были практически одинаковыми: длина 25±9 см, толщина 13±5 см, ширина 15±6 см (*M*±*SD*), интраовариальный кровоток не визуализировался. Доплерометрические показатели интраовариального кровотока в постменопаузе характеризовались низкой скоростью (<5,6 см/с) и высоким индексом резистентности (ИР 0,6-0,7).

В ходе нашего исследования наблюдались случаи, когда даже на фоне выраженной клинической симптоматики воспалительных заболеваний органов малого таза эхографическая картина не давала каких-либо специфических признаков. Дальнейшее прогрессирование инфекции приводило к визуализации увеличения размеров тела матки и незначительного утолщения эндометрия (>11 мм). При послеабортном остром эндометрите определялась расширенная за счет жидкости полость матки с гиперэхогенным налетом фибрина.

У половины пациенток с острым эндометритом единственным признаком воспаления была визуализируемая при ЦДК и ЭДК повышенная васкуляризация эндометрия. Количественные показатели при этом характеризовались средней резистентностью (ИР 0,6±0,004). На фоне антибактериальной терапии отмечались постепенное увеличение толщины эндометрия и исчезновение жидкости в полости матки [7].

Пиосальпинкс эхографически встречался у 25-30% больных с острым воспалением органов малого таза [3, 5] и характеризовался появлением в трубе жидкости с эхогенной взвесью, а также признаком «зубчатого колеса» [4], возникающего при поперечном сканировании. Доплерографически в стенках трубы при остром воспалении определялись кровеносные сосуды со средней резистентностью кровотока (ИР 0,54±0,08).

Ультразвуковые признаки острого оофорита изолированно встречались у очень незначительной части больных (не более 4%) с острым воспалением органов малого таза [2]. Для острого воспаления яичников была характерна повышенная васкуляризация тканей, которая достаточно легко визуализировалась с помощью цветового доплеровского картирования. Яичник при пиоваре приобретал вид преимущественно эхопозитивного образования с высокой звукопроводимостью, содержащего множественные включения различной формы и размеров. При цветовом доплеровском картировании пиовара в зависимости от степени гнойного расплавления яичника определялись сигналы гиперваскуляризации стромы либо полное отсутствие цветовых пятен. Количественные показатели интраовариального кровотока при остром оофорите широко варьировали (ПИ 0,46-1,6).

По данным A. Suren и соавт. [20], использование при цервиците трансвагинальной трехмерной энергетической доплерографии позволяет визуализировать множественные шеечные сосуды, прилегающие к эндоцервиксу, невидимые в норме. Данные ряда авторов [19, 21, 22], а также данные нашего исследования позволяют выделить следующие эхографические признаки хронического эндометрита: утолщение эндометрия; атрофию эндометрия при длительно текущем процессе, а также при туберкулезной этиологии хронического эндометрита; неровный волнистый контур эндометрия; повышение эхогенности эндометрия в пролиферативную фазу; неоднородную эхоструктуру эндометрия, неровность линии смыкания переднего и заднего листков эндометрия; неравномерное расширение полости матки в пролиферативную фазу за счет нарушения проницаемости сосудов; пузырьки газа в полости матки; гиперэхогенные включения в проекции базального слоя; диффузно-очаговые и кистозные изменения субдэндометриальной зоне миометрия; расширение вен миометрия >3 мм и параметрия >5 мм. При цветовой доплерографии у больных с признаками хронического вос-

паления придатков и эхокартиной тубоовариального образования обычно определялось небольшое количество цветовых пятен с относительно высокими показателями периферической резистентности [17]. ИР составлял 0,72±0,06 [18].

По данным S. Kupesic и A. Kurjak [12], при цветовой доплерографии миоматозного узла определяется преимущественно периферическая васкуляризация, позволяющая более четко определить его контур. Средний показатель ИР в миоматозных узлах составил 0,55±0,09. Обращает на себя внимание, что практически 2/3 цветовых локусов, составляющих периферическое обрамление миоматозных узлов, содержали сосуды с венозным типом кровотока [3].

При воспалительных, некротических и дегенеративных процессах в миоме матки A. Kurjak и S. Kupesic [12] регистрировали низкие значения ИР в центральных отделах узлов. Имеются сообщения о том, что о некрозе в миоматозном узле свидетельствует отсутствие цветовых пятен при цветовом доплеровском картировании [16]. Эти данные подтверждаются и нашими исследованиями. В ряде случаев выраженного нарушения питания в узле мы обнаруживали выраженное повышение ИР в периферических сосудах. K. Taylor и соавт. [14] обнаружили более выраженную васкуляризацию и относительно низкие значения ИР в пременопаузе по сравнению с таковым в постменопаузе ($P < 0,05$), в больших узлах по сравнению с маленькими ($P < 0,0001$), а также в субмукозных и субсерозных узлах по сравнению с интерстициальными ($P < 0,05$).

Suren A. и соавт. [20] заявляют о возможности доплерографической дифференциации узловой формы внутреннего эндометриоза и миомы матки. В нашем исследовании у 87% больных аденомиозом в зоне поражения определялись хаотично расположенные сосуды, в то время как при доплерографии миоматозных узлов в 88% случаев визуализировались периферические или наружные питающие сосуды. Доплерометрические показатели аденомиоза характеризовались более высокой резистентностью (в 80% ПИ > 1,17) по сравнению с аналогичными при миоме (в 84% ПИ < 1,18).

Установлена выраженная васкуляризация в 100% при саркоме матки в виде множественных, хаотично разбросанных цветовых пятен. Такую же визуальную картину представляют собой внутриопухолевые сосуды и в большинство миоматозных узлов. По данным A. Kurjak и соавт. [18], использование порогового значения ИР < 0,40 позволяет дифференцировать миому и саркому матки с чувствительностью 90,91%, специфичностью 99,82%, прогностической ценностью положительного и отрицательного результатов 71,43% и 99,96%, сответственно.

По мнению ряда авторов, эхографические картины при миоме и саркоме практически идентичны [1, 2, 7, 11]. Тем не менее целесообразно выделить ряд «эхографических маркеров», позволяющих заподозрить саркому и провести углубленное исследование: быстрый рост узла [11], рост узла в постменопаузе [1], нечеткий контур узла [7], дольчатое строение узла [7], зоны сниженной эхогенности в узле без признаков акустического усиления [7], анэхогенные включения неправильной формы в узле без клиники нарушения питания [1], участки повышения эхогенности в узле, особенно в центральных отделах [2].

K. Hata и соавт. [16] первыми предложили использовать показатели максимальной систолической скорости кровотока в качестве дифференциально-диагностического критерия между миомой и саркомой матки. Авторы не обнаружили достоверных отличий между показателями ИР при миоме – 0,65 (0,42-0,90) и саркоме матки – 0,66 (0,33-0,77). При этом МАС при саркоме – 61,6 см/с (40,0-124,0 см/с) была достоверно выше МАС при миоме – 21,6 см/с (6,3-48,6 см/с) ($p < 0,05$). Разработанное пороговое значение МАС > 41,0 см/с позволило авторам дифференцировать миому и саркому с чувствительностью 80% и специфичностью 97,6%.

Частота выявления преимущественно центрального типа васкуляризации также возрастала по мере увеличения миоматозных узлов (в 20-30% узлов диаметром < 25мм и в 40-63% узлов диаметром >50 мм). В артериальных сосудах по мере увеличения узлов МАС росла, а ИР – снижался. Наибольших значений МАС достигала в миоматозных узлах диаметром > 50 мм – до 36 см/с в обычных и до 44 см/с – в пролиферирующих.

Выводы. В репродуктивном возрасте качественные и количественные характеристики кровотока изменялись в зависимости от фазы менструального цикла, отмечались увеличение пиковой систолической скорости от 40 см/с до 52 см/с во второй фазе и снижение индекса периферического сопротивления от 0,88 до 0,7. Для острого воспаления яичников характерны: повышение васкуляризации тканей в режимах ЦДК и ЭДК, повышение скорости и снижение резистентности артериального кровотока, соответственно, до 38±10,6 см/с, 0,48±0,04. При хронических воспалительных процессах в придатках определялись редкие цветовые пятна в режимах ЦДК и ЭДК с относительно высокими показателями индекса периферического сопротивления (0,72±0,06).

У больных с миомой матки наблюдались незначительное повышение пиковой систолической скорости кровотока до 29,6±4,8 см/с, снижение индекса резистентности в маточных артериях (до 0,68±0,08), в то время как в группе здоровых женщин репродуктивного возраста ИР составлял 0,82±0,06. Выявление в простых миоматозных узлах центрального типа васкуляризации и низких показателей ИР свидетельствовало об отеке узла, кровоток с низким периферическим сопротивлением характерен был как для тканей с активной пролиферацией, так и для участков нарушения питания и деструкции в доброкачественных структурах.

У пациенток с негравидарной гиперплазией эндометрия были обнаружены утолщение (более 10 мм) и неоднородная структура эндометрия с интактной субэндометриальной зоной. В режиме ЦДК, ЭДК выявлены зоны высокой васкуляризации, ИР составлял 0,48±0,08, пиковая систолическая скорость кровотока (в зоне высокой васкуляризации эндометрия) составила 7,6±2,4 см/с.

Литература

1. *Бохман Я.В.* Лекции по онкогинекологии. Ташкент: Медицина, 1985.

2. *Буланов М.Н., Зыкин Б.И.* Первый опыт изучения скорости внутриопухолевого венозного кровотока в новообразованиях яичников с помощью трансвагинальной цветовой допплерографии в сочетании с импульсной допплерометрией // Ультразвуковая диагностика. 1997. № 4. С. 9.

3. *Буланов М.Н., Зыкин Б.И., Новикова Т.И.* Допплерографическая диагностика рака яичников. Качественные и количественные критерии // Ультразвуковая диагностика в акушерстве, гинекологии и педиатрии. 2000. № 1, т. 8. С. 67-72.

4. *Зыкин Б.И.* Диагностика новообразований внутренних половых органов у женщин с помощью эхографии: дис. ... канд. мед. наук. М., 1982.

5. *Зыкин Б.И., Буланов М.Н.* Опухолевидные образования яичников // Допплерография в гинекологии / под ред. Б.И. Зыкина, М.В. Медведева. 1-е изд. М.: Реальное время. 2000. С. 99-106.

6. *Зыкин Б.И., Медведев М.В.* Эхографическая классификация опухолей и опухолевидных образований малого таза // Ультразвуковая диагностика. 1998. № 1. С. 8-15.

7. *Зыкин Б.И., Проскурякова О.В., Буланов М.Н.* Допплерографическая диагностика в онкогинекологии // Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. М.: Видар, 1997. Т. 3. С. 165-173.

8. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / под ред. В.В. Митькова, М.В. Медведева. М.: Видар, 1997. Т. 3.

9. *Липатенкова Ю.И., Демидов В.Н., Адамян Л.В.* Значение допплерографического определения внутриопухолевого кровотока в дифференциации опухолей яичника и мезосальпинкса // Ультразвуковая диагностика в акушерстве, гинекологии и педиатрии. 1999. № 2, т. 7. С. 138-143.

10. *Медведев М.В., Куница И.М.* Цветовое допплеровское картирование в онкогинекологии // Ультразвуковая диагностика в акушерстве, гинекологии, педиатрии. 1994. № 1. С. 26-34.

11. Ультразвуковая диагностика: нормат. материалы и метод. рекомендации / под ред. С.А. Бальтера. М.: Интерпракс, 1990.

12. An atlas of transvaginal color Doppler. 2nd ed. / ed. by A. Kurjak, S. Kupesic // The Parthenon publishing group. N.Y.; L., 2000.

13. *Bourne T.H.* Transvaginal color Doppler in gynecology // Ultrasound Obstet. Gynecol. 1991. Vol. 1. P. 359-373.

14. Correlation of Doppler ultrasound tumor signals with neovascular morphologic features / *K. Taylor, I. Ramos, D. Carter et al.* // Radiology. 1988. Vol.166. P. 57-61.

15. Different angiogenetic natures between benign and malignant ovarian tumors / *V. Emoto, T. Kawarabayashi, K. Iwasaki et al.* // Ultrasound Obstet. Gynecol. 1996. Vol. 8, № 1. P. 116.

16. *Hata K., Hata T., Maruyama R., Hirai M.* Uterine sarcoma: can it be differentiated from uterine leiomyoma with Doppler ultrasonography? A preliminary report // Ultrasound. Obstet. Gynecol. 1997. Vol. 9, № 2. P. 101-104.

17. Hemodynamic assessment in pelvic inflammatory disease by transvaginal color Doppler ultrasonography / *C. Alatas, E. Aksoy, C. Akarsu et al.* // Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol. 1996. Vol. 70(1). P. 75-78.

18. *Kurjak A., Zaiud I.* Tumor Neovascularization // Transvaginal color Doppler. L: The Parthenon Publishing Group, 1991. P. 93-101.

19. *Rottem S.* Transvaginal ultrasonographic study of the fallopian tube // Obstet. Gynec. 1987. Vol. 70. P. 424-428.

20. *Suren A., Osmers R., Kuhn W.* 3D Color Power Angio imaging: a new method to assess intracervical vascularization in benign and pathological conditions // Ultrasound. Obstet. Gynecol. 1998. № 11(2), Feb. P. 133-137.

21. The value of transvaginal color Doppler in the assessment of pelvic inflammatory disease / *S. Kupesic, A. Kurjak, L. Pasalic et al.* // Ultrasound. Med. Biol. 1995. Vol. 21(6). P. 733-738.

22. *Toth M., Chervenak F.* Infection as the case of infertility // Ultrasound and infertility / ed. by S. Kupesic, D. De Ziegler. Carnforth, UK: Parthenon Publishing, 2000.

ДИОМИДОВА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (diomidovavn@rambler.ru).

DIOMIDOVA VALENTINA NIKOLAEVNA – doctor of medical sciences, head of Internal Diseases Propaedeutics Chair with a Beam Diagnostics Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ВАЛЕЕВА ОЛЬГА ВИТАЛЬЕВНА – кандидат медицинских наук, врач ультразвуковой диагностики, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары.

VALEEVA OLGA VITALYEVNA – candidate of medical sciences, doctor of ultrasonic diagnostics, City Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

ЗАХАРОВА ОКСАНА ВЛАДИМИРОВНА – кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог родового отделения 1/2 Университетской клинической больницы № 2, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, Москва.

ZAKHAROVA OKSANA VLADIMIROVNA – candidate of medical sciences, obstetrician-gynecologist of maternity ward of 1/2 University Clinical Hospital № 2, First Moscow State Medical named after I.M. Sechenov, Russia, Moscow.

КОНЬКОВА МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (konkova-masha@mail.ru).

KONKOVA MARIYA VLADIMIROVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Normal and Topographic Anatomy with a Operational Surgery Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ИЩЕНКО АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой акушерства и гинекологии № 1, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова, Россия, Москва.

ISHCHENKO ANATOLIY IVANOVICH – doctor of medical sciences, professor, head of Obstetrics and Gynaecology № 1 Chair, First Moscow State Medical named after I.M. Sechenov, Russia, Moscow.

ЧАМЕЕВА ТАТЬЯНА ВЯЧЕСЛАВОВНА – врач ультразвуковой диагностики, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары.

CHAMEEVA TATYANA VYACHESLAVOVNA – doctor of ultrasonic diagnostics, City Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

СЕМЕНОВА ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА – врач ультразвуковой диагностики, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары.

SEMENOVA ELENA NIKOLAEVNA – doctor of ultrasonic diagnostics, City Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

УДК 616.3 + 616-07
ББК 53/57. Клиническая медицина

В.В. ЗАХАРОВА, Э.С. ГАВРИЛОВА, А.В. КАРПУНИНА, А.Ю. ЕРМОЛАЕВА

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВРОЖДЕННОГО И АДАПТИВНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА У БОЛЬНЫХ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНЬЮ ЛУКОВИЦЫ ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ В ХОДЕ СТАЦИОНАРНОГО ЛЕЧЕНИЯ

Ключевые слова: *язвенная болезнь луковицы двенадцатиперстной кишки, Helicobacter pylori, иммунная система.*

В исследование включено 25 больных с язвенной болезнью луковицы двенадцатиперстной кишки (ЯБ ЛДПК), ассоциированной с инфекцией Helicobacter pylori (HP). У больных с ЯБ ЛДПК выявлены клеточный иммунодефицит и активация гуморального иммунитета (повышение Ig A, Ig M, Ig G). В условиях недостаточности клеточного звена адаптивного иммунитета активизируется фактор врожденного иммунитета – нейтрофильный фагоцитоз. Стандартная схема лечения ЯБ ЛДПК не устраняет выявленные иммунологические сдвиги.

V.V. ZAKHAROVA, E.S. GAVRILOVA, A.V. CARPUNINA, A.U. ERMOLAEVA

THE DYNAMIC CHANGES OF THE INNATE AND ADAPTIVE IMMUNE RESPONSES IN PATIENTS WITH PEPTIC ULCER DUODENAL BULB DURING HOSPITAL TREATMENT

Key words: *ulcer of duodenal bulb, Helicobacter pylori, immune system*

The study included 25 patients with ulcer duodenal bulb associated Helicobacter pylori infection (HP). The patients with ulcer duodenal bulb revealed cellular immune deficiency and activation of humoral immunity (increase of Ig A, Ig M, Ig G). In case of insufficient cell component of adaptive immunity is activated factor of innate immunity – neutrophil phagocytosis. The standard treatment regimen ulcer duodenal bulb not eliminate the identified immunological changes.

Язвенная болезнь луковицы двенадцатиперстной кишки (ЯБ ЛДПК) является распространенным во всем мире заболеванием, которым страдают в основном люди молодого и среднего возраста. Нередко язвенная болезнь является причиной инвалидности, она может давать тяжелые осложнения, в ряде случаев приводит к летальному исходу [3]. Микроорганизм Helicobacter pylori (HP) в настоящее время признан ведущим этиологическим фактором возникновения хронического гастрита и предрасполагающим фактором развития ЯБ ЛДПК. Кроме того, HP повышает риск осложненных и неосложненных гастродуоденальных язв у пациентов, принимающих нестероидные противовоспалительные препараты [4].

В настоящее время в качестве терапии первой линии, согласно рекомендациям Маастрихт-4, используются стандартная тройная схема эрадикационной теарпии («золотой стандарт») – схема с кларитромицином, амоксициллином, ингибитором протонной помпы (ИПП) или стандартная тройная схема с препаратами висмута. В качестве терапии второй линии рекомендуется последовательная схема (амоксициллин и ИПП 5 дней, далее кларитромицин, метронидазол и ИПП 5 дней), а также одновременная схема (кларитромицин, амоксициллин, метронидазол и ИПП). Успешная эрадикация HP позволяет устранить симптомы заболевания, способствует рубцеванию язв и предупреждает развитие обострений и осложнений. После ее проведения улучшаются функциональные возможности тела желудка [7]. Однако полная эрадикация становится все более трудной задачей. Ни один из известных видов терапии не обеспечивает 100% эффективности [1].

Проблема лечения инфекции HP лежит в области модуляции иммунного ответа [11]. Из-за специфических свойств HP активация иммунной системы неадекватна: кроме ограничения роста микроба она вызывает гибель клеток эпителия желудка [2]. После впервые проведенной эрадикационной терапии в 40% случаев вновь диагностируется инфекция HP. Возникает вопрос – не связано ли это с иммунологическими факторами. В поисках ответа на данный вопрос проведено изучение динамики показателей иммунного статуса до и после лечения у больных ЯБ ЛДПК.

Материалы и методы исследования. Обследование и лечение пациентов проводились на базе гастроэнтерологического отделения БУ «Центральная городская больница» Министерства здравоохранения и социального развития Чувашии. В исследование включено 25 больных в возрасте от 18 до 65 лет (средний возраст 39,15±12,60 года), из них 14 мужчин и 11 женщин с впервые диагностированной по результатам фиброгастродуоденоскопии на амбулаторном этапе ЯБ ЛДПК, подтвержденной цитологически инфекцией HP.

Клинические методы включали в себя детальный анализ жалоб и данных физикального осмотра пациентов. Лабораторные исследования включали общеклинические и биохимические анализы (общий билирубин, аланинаминотрасфераза, аспартатаминотрасфераза, мочевина, креатинин, общий белок и белковые фракции, фибриноген, С-реактивный белок), микробиологические тесты (микробиологическое исследование кала на дисбиоз толстой кишки). Комплексное иммунологическое обследование пациентов проводилось на 2-й и 11-й день госпитализации и включало определение процентного и абсолютного числа лимфоцитов, нейтрофилов, иммунофенотипирование мононуклеарных клеток периферической крови методом непрямой иммунофлюоресценции с использованием моноклональных антител CD3, CD4, CD8, CD20, CD25, CD71, CD95 («Сорбент», Москва), определение концентрации сывороточных IgM, IgG, IgA по Манчини, циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) методом осаждения полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000), изучение фагоцитарной активности нейтрофилов в латекстесте согласно стандартным методикам [8]. На амбулаторном этапе перед поступлением на стационарное лечение больным выполнялась эзофагогастродуоденоскопия с морфологическим и цитологическим исследованием биоптатов слизистой оболочки желудка. Диагностика инфекции HP проводилась двумя методами. При проведении фиброгастродуоденоскопии выполнялся быстрый уреазный тест. Кроме того, проводилось определение антител IgM и IgG к цитотоксину CagA HP в сыворотке крови.

Пациенты с подтвержденной ЯБ ЛДПК, ассоциированной с инфекцией HP, получали стандартную эрадикационную терапию первой линии: амоксициллин 2 г/сут., кларитромицин 1 г/сут., ИПП (омепразол 40 мг/сут.).

Обработка данных произведена с использованием параметрических методов статистического анализа [6]. Данные представляли в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое; m – ошибка средней арифметической. Достоверность различий в выборках данных оценивали по t-тесту Стьюдента. Корреляционный анализ проводили с использованием непараметрической корреляции по Спирмену. Полученные в ходе исследования данные сравнивали с региональными референсными значениями [5].

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ исходных показателей клеточного звена адаптивного иммунного ответа больных ЯБ ЛДПК выявил уменьшение относительного числа Т-лимфоцитов и Т-хелперных клеток (табл. 1). Показатели гуморального звена (уровни Ig A, Ig M, Ig G) и фагоцитарной активности нейтрофилов (фагоцитарный индекс) были повышены. С целью изучения влияния эрадикационной терапии на исследуемые показатели было проведено сравнение исходных и конечных значений с референсными уровнями. Установлено, что в ходе лечения увеличивалось число Т-хелперов, в результате их содержание достигало уровня здоровых. Остальные показатели клеточного звена иммунного ответа не изменялись. Уровни Ig A, Ig M, Ig G снижались и переставали отличаться от референсных значений.

Анализ показателей экспрессии активационных маркеров выявил у больных повышение содержания $CD25^+$- и $CD71^+$-лимфоцитов, сохранявшееся до конца лечения (табл. 2).

Таблица 1

Лабораторные показатели больных ЯБ ЛДПК в сравнении со здоровыми лицами

Показатели	Референсные значения (n = 40)	Больные ЯБ ЛДПК		$p <$	
		до лечения (n = 25)	после лечения (n = 25)		
	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$		
1	2	3	4	2-3	2-4
Лейкоциты в 1мкл	5580±168	5760±322	5805,5±303	NS	NS
Нейтрофилы,%	58,5±0,9	56,1±1,6	51,2±3,7	NS	NS
Нейтрофилы.в 1 мкл	3236±125	3280±250	3140±260	NS	NS
Лимфоциты,%	36,2±0,9	38,7±1,6	38,3±3,1	NS	NS
Лимфоциты в 1 мкл	2011±117	2240±110	2370±180	NS	NS
Эозинофилы,%	3,0±0,2	2,1±0,2	1,5±0,1	0,05	0,001
Т-лимфоциты ($CD3^+$),%	61,9±0,8	51,9±3,1	55,9±1,8	0,01	0,01
Т-лимфоциты в 1 мкл	1246±76	1,2±0,1	1,34±0,1	NS	NS
Т-хелперы (CD4+),%	37,8±0,9	33,4±1,0	35,7±1,4	0,01	NS
Цитотоксические Т-лимфоциты (CD8+),%	24,4±0,5	23,8±1,4	23,7±1,2	NS	NS
В-лимфоциты ($CD20^+$),%	14,3±0,5	13,2±0,8	12,4±1,1	NS	NS
В-лимфоциты в 1 мкл	289±18	290±20	295±30	NS	NS
IgM, г/л	1,2±0,05	1,7±0,1	1,6±0,1	0,01	NS
IgG, г/л	11,9±0,03	13,4±0,7	12,9±0,8	0,001	NS
IgA, г/л	1,8±0,06	3,0±0,2	2,9±0,2	0,001	0,001
Фагоцитарный индекс,%	62,8±0,7	72,6±2,2	69,1±2,4	0,001	0,05
Фагоцитарное число, у.ед.	4,1±0,07	3,6±0,1	3,7±0,1	0,01	0,05
ЦИК, у. ед.	12,1±0,4	10,9±1,8	11,8±2,1	NS	NS

Примечание. NS – различие недостоверно.

Таблица 2

Показатели экспрессии активационных маркеров у больных ЯБ ЛДПК и здоровых лиц

Показатели	Референсные значения	Больные ЯБ ЛДПК		$p <$	
		до лечения	после лечения		
	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$		
$CD\ 25^+$-лимфоциты,%	6,9±0,339	10,29±1,05	11,13±0,96	0,01	0,001
$CD\ 71^+$-лимфоциты,%	6,1±1,1	12,31±2,69	11,5±0,78	0,05	0,001
$CD\ 95^+$-лимфоциты,%	19,9±1,6	19,94±1,82	23,19±1,81	NS	NS

Примечание. NS – различие недостоверно.

Использование стандартной эрадикационной терапии вызывало развитие нарушений микрофлоры желудочно-кишечного тракта (табл. 3). У всех пациентов уменьшалось число лакто- и бифидобактерий, причем у 40% до уровня ниже 10^5. Условно-патогенная микрофлора у пациентов после проведенного лечения в основном представлена ростом клебсиеллы (76%) и патогенного стафилококка (100%). Рост грибов рода Candida не был выявлен у здоровых лиц, у пациентов после эрадикационной терапии 1-й линии рост грибов рода Candida наблюдался в 48% случаев.

Таблица 3

Изменения микробиоценоза толстой кишки после проведения эрадикационной терапии 1-й линии у пациентов ЯБ ЛДПК

Группы обследованных	Степень изменения микробиоценоза		
	1-я	2-я	3-я
Здоровые	12%	не выявлен	не выявлен
Пациенты с ЯБ ЛДПК, после проведенной эрадикационной терапии	28% исследуемых пациентов	42% исследуемых пациентов	28% исследуемых пациентов

Результаты исследований позволяют предположить, что ЯБ ЛДПК развивается у больных с угнетением клеточного звена иммунного ответа. В силу существования антагонистических отношений между клеточным и гуморальным механизмами адаптивного иммунного ответа происходит активация гуморального иммунного ответа. Параллельно с повышением антителопродук-

ции растет фагоцитарная активность, о чем свидетельствует повышение фагоцитарного индекса. Другой показатель фагоцитарной активности – фагоцитарное число, показывающее, сколько частиц латекса поглощает один фагоцитирующий нейтрофил, компенсаторно снижается в условиях увеличенного процента фагоцитирующих нейтрофилов.

В ходе лечения не происходит восстановления исходно сниженных значений клеточного звена иммунитета. В то же время существенно изменяется состояние гуморального звена иммунного ответа: снижается продукция Ig M и Ig G и концентрации данных классов иммуноглобулинов сравниваются с референсными значениями. Вероятно, снижение активности гуморального иммунитета в ходе лечения связано с эффектом эрадикационной терапии, обусловливающей уменьшение концентрации HP [10, 11].

Результаты исследования свидетельствуют о том, что противохеликобактерная терапия вызывает выраженное угнетение роста бифидо- и лактобактерий и создает условия для заполнения освободившейся микроэкологической ниши патогенными и условно-патогенными микробами [2]. Это может способствовать персистенции воспалительного инфильтрата в слизистой оболочке желудка, что является морфологическим субстратом хронического гастрита. В свою очередь, дисбиоз толстой кишки способствует прогрессированию патологического процесса в слизистой оболочке ЛДПК.

В связи с приведенными данными возникает необходимость поиска новых вариантов лечения инфекции HP, улучшающих показатели клеточного иммунного ответа, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности терапии, а также уменьшение негативного влияния на микробиоценоз.

Выводы. 1. У больных с ЯБ ЛДПК, ассоциированной с инфекцией HP, установлен клеточный иммунодефицит на фоне активации гуморального механизма иммунного ответа, фагоцитарной активности нейтрофилов и повышения экспрессии активационных маркеров лимфоцитов.

2. Эрадикационная противохеликобактерная терапия не восстанавливает исходно нарушенные звенья иммунного ответа, но приводит к дисбиотическим расстройствам в желудочно-кишечном тракте.

Литература

1. *Аруин Л.И.* Helicobacter pylori в этиологии и патогенезе язвенной болезни // Материалы VII сессии Российской группы по изучению Helicobacter pylori. Н. Новгород, 2008. С. 6-11

2. *Дугина В.В.* Изучение возможной эффективности применения иммуномодулятора в комплексной антихеликобактерной терапии // Медицина будущего: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар; Сочи, 2002. С. 121.

3. *Ивашкин В.Т.* Школа клиницista. Язвенная болезнь – история медицины // Медицинский вестник. 2006. Т. 362, № 19. С. 9-10.

4. *Маев И.В., Самсонов А.А.* Язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки: различные подходы к современной консервативной терапии // CONSILIUM MEDICUM. 2004. Т. 1. С. 6-11.

5. *Ковальчук Л.В., Сусликов В.Л., Карзакова Л.М., Соколова Е.В.* Иммунная реактивность организма в условиях естественного дефицита цинка // Иммунология. 2004. № 6. С. 336-339.

6. *Платонов А.Е.* Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы. М.: Изд-во РАМН, 2000. 52 с.

7. Рекомендации Маастрихт-4 [Электронный ресурс]. URL: http://webmed.irkutsk.ru/doc/pdf/maastricht4.pdf.

8. *Хаитов Р.М., Пинегин Б.В., Штамов Х.И.* Экологическая иммунология. М.: Изд-во ВНИРО, 1995. 219 с.

9. *Kuzin V.B., Dugina V.V., Govinden K.* Effects of different kinds of Immunomodulators on eradication and factors of specific and non specific immune resistance in Helicobacter pylori induced peptic ulcer disease // European Journal of Medical Research. 2011. Sept. 21. P. 30.

10. *Dugina V., Govinden K.* The study of Immunomodulators of Different Pharmacological groups on Eradication and Immune Status // Poster Legend, FIP Pharmacological Sciences World Congress (November 14-18, 2010). New Orleans, 2010.

11. *Kuzin V.B., Dugina V.V., Govinden K.* Effects of usage of immunomodulators of different pharmacological groups on eradication and immune indexes in Helicobacter induced peptic ulcer disease // 22nd European Congress of Clinical Microbiology and Infectious Diseases ECCMID. L., 2012. P. 840.

ЗАХАРОВА ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА – врач-гастроэнтеролог, Центральная городская больница, Россия, Чебоксары (tinaz@bk.ru).

ZAKHAROVA VALENTINA VLADIMIROVNA – practising doctor-gastroenterologist, the Central City Hospital, Russia, Cheboksary.

ГАВРИЛОВА ЭЛЬВИРА СТАНИСЛАВОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ges2201@yandex.ru).

GAVRILOVA ELVIRA STANISLAVOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КАРПУНИНА АНТОНИНА ВЯЧЕСЛАВОВНА. См. с. 359.

ЕРМОЛАЕВА АЛЕКСАНДРА ЮРЬЕВНА – ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

ERMOLAEVA ALEXANDRA YURIEVNA – assistant of Therapeutic Dentistry Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.314-073.75:616.36-006
ББК 53.64+55.694.135

С.Р. ЗОГОТ, Р.Ф. АКБЕРОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА ГЕПАТОБИЛИОПАНКРЕАТОДУОДЕНАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Ключевые слова: *оптимизация, лучевые методы исследования, диагностика, рак гепатобилиопанкреатической зоны.*

Обобщен многолетний опыт лучевой диагностики рака печени, внепеченочных желчных протоков, рака поджелудочной железы, пилорического канала, выходного отдела желудка, двенадцатиперстной кишки, колоректального рака, рака надпочечника, почки, являющихся первоисточниками метастатического поражения печени. Исследование проводилось согласно программе и алгоритмам комплексного, дифференцированного применения высокотехнологичных методов медицинской визуализации, что позволило определить эффективность каждой технологии в проведении дифференциации злокачественных, доброкачественных поражений гепатобилиопанкреатодуоденальной зоны (ГБПДЗ), установить раннюю стадию опухолевого процесса.

S.R. ZOGOT, R.F. AKBEROV

OPTIMIZATION OF RADIATION TECHNIQUES IN THE DIAGNOSIS OF CANCER HEPATOBILIOPANCREATODUODENAL ZONE

Key words: *optimization, radiologic research, diagnostics, cancer of hepatobiliopancreatoduodenal zone.*

In the present report summarizes many years of experience radiodiagnostics of liver cancer, extrahepatic bile duct cancer, pancreatic cancer, pyloric channel, the output of the stomach, duodenum, colon cancer, cancer of the adrenal glands, the kidneys, which are the primary sources of metastatic liver disease. Study was carried according to the program, and algorithms integrated, differentiated application of of high-tech medical imaging, which allowed to establish efficiency of each technology to conduct the differentiation of malignant, benign lesions GBPDZ, to establish an early stage of cancer.

Несмотря на бурное развитие технологий лучевого исследования и достижения в онкологии, гепатохирургии, результаты диагностики и лечения рака печени, панкреатодуоденальной зоны не могут быть признаны успешными. К моменту выявления опухоли печени и поступления больного в клинику ее радикальное удаление возможно лишь в 5-15% наблюдений [2, 3]. Скрининг рака печени несовершенен, обычно он включает анализ клинических данных, определение в крови онкомаркера – альфафетопротеина (АФП) и УЗИ [12]. Однако во многих случаях полученная информация недостаточна, так как клинические проявления не являются патогномоничными, а уровень АФП при ряде злокачественных опухолей печени не повышается [9, 15].

В последнее десятилетие широкое применение в клинической практике нашли высокоинформативные методы лучевой визуализации: многослойная спиральная компьютерная томография (МСКТ), МРТ, однофотонная эмисси-

онная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), многофазовая МСКТ ангиография, МСКТ-артериопортография, динамическая контрастная МРТ (ДКМРТ), МРТ-холангиопортография, МРТ-венопортография, МРТ-спектроскопия [3, 15].

Дальнейшее развитие получили современные УЗИ технологии. Уникальная информация о метаболизме опухолевых клеток, дифференциации рака печени и изменений печени доброкачественной природы может быть получена с помощью ПЭТ [6, 14]. А.М. Грановым, Л.А. Тютиным, Е.В. Розентауз с соавт. [2] обобщен многолетний опыт лучевой диагностики опухолей и других очаговых изменений печени с использованием фактически всех современных высокотехнологических методов лучевой визуализации. Однако не все клиники оснащены набором высокотехнологических методов и аппаратов лучевой диагностики. Роль и место каждого из вышеуказанных методов в сложном диагностическом процессе до настоящего времени недостаточно изучены.

Панкреатобилиарный рак диагностируется в поздних стадиях, в дожелтушной стадии – лишь в 1,5% случаев. При раке внепеченочных желчных протоков и фатерова соска преобладала II стадия, при раке головки поджелудочной железы (ПЖ) – III стадия опухолевого процесса (В.П. Харченко, Т.А. Лютфалиев, Е.В. Хмелевский и др., 2008) [8]. Радикальные операции при раке фатерова соска выполняются лишь у 20% больных, а госпитальная летальность составляет 35%, паллиативных вмешательств – 15-25%. В лечении рака фатерова соска превалируют хирургические и эндохирургические вмешательства, направленные на устранение непроходимости желчных протоков и не оказывающие непосредственного противоопухолевого воздействия. Высокая смертность вызвана нарушением функционального состояния печени, обусловленным холестазом, техническим несовершенством хирургических вмешательств. Пятилетняя выживаемость после радикального хирургического вмешательства не превышает 20%, средняя продолжительность жизни после паллиативных вмешательств – 8-11 месяцев. Для своевременной диагностики гепатопанкреатобилиарного рака возникает необходимость оптимизации лучевых методов исследования.

Целью исследования явилась оптимизация лучевых методов исследования в диагностике рака гепатобилиопанкреатопилородуоденальной зоны.

Материалы и методы исследования. Двухэтапное рентгенофармакоэндоскопическое исследование с морфоверификацией биоптатов верхнего этажа желудочно-кишечного тракта (пищевода, желудка, двенадцатиперстной кишки) за период с 2002 по 2009 г. проведено 7850 больным, УЗИ органов брюшной полости, забрюшинного пространства проведена 6000 пациентам. Рентгеновская компьютерная томография (РКТ) органов грудной и брюшной полости проведена 4900 пациентам. УЗИ желудка, наполненного водой, проведено 800 больным. УЗИ с ЦДК гепатобилиопанкреатической зоны проведено 970 больным, спиральная компьютерно-томографическая ангиография (СКТА) (в артериальную, паренхиматозную, венозную отсроченную фазы) проведена 1000 больным с патологией гепатобилиопанкреатодуоденальной зоны, обнаруженной по результатам УЗИ томографии. МРТ желудка, наполненного водой, проведена 300 больным после анализов результатов рентгеноэндоскопии, РКТ и УЗ исследования, эндоскопическая ретроградная холангиопанкреаграфия (ЭРХПГ) проведены 700 больным с патологией ГБПДЗ. ДКМРТ проведена 950 больным с патологией ГБПДЗ. Чрескожная чреспеченочная холангиопанкреатография под УЗ контролем проведена 350 больным с патологией ГБПДЗ. Тонкоигольная аспирационная биопсия под УЗ наведением проведена 400 больным с патологией ГБПДЗ. Всем больным с билиарной гипертензией проведена цитология желчи, эндохоледохобиопсия, больным с опухолями двенадцатиперстной кишки проведена эндобиоп-

сия для морфоверификации опухоли. МРХПГ проведена 600 больным с патологией ГБПДЗ. Колоноскопия проведена 2000 больным.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась корреляционным анализом на персональном компьютере с использованием программного обеспечения Microsoft Excel (версия 7.0), Statistica (версия 5.0) и вычислением *m* и *p*. Результаты считались достоверными при $p < 0,005$.

Лучевое исследование больных проведено согласно программе и алгоритму комплексного лучевого исследования, разработанными нами и внедренными в клиническую практику.

Лучевое обследование больных предполагаемой патологией ГБПДЗ начиналось практически с ультразвуковой томографии. Чувствительность и специфичность УЗИ с ЦДК в дифференциации рака печени составили 94% и 90%, соответственно, точность – 87%, что согласуется с данными [5]. Чувствительность, специфичность, точность РКТ в диагностике первичного и метастатического рака печени составили 70%, 69% и 62%, многофазовой СКТА – 90%,92% и 90%. Многофазовая СКТА позволяла диагностировать гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) > 2 см, провести дифференциацию с одиночной узловой гиперплазией печени (ОУГ), гемангиомами, одиночными метастазами. ДКМРТ обладает высокой чувствительностью, специфичностью и точностью в диагностике ГЦР, холангиоцеллюлярного рака (ХЦР) 96% и 90%, 90%, соответственно, и дифференциации с гемангиомами, ОУГ, аденомами печени. Сочетание УЗИ, СКТА, МРТ с контрастным усилением (МРТ с КУ) позволяет дифференцировать все виды эхинококкоза печени и их осложненное течение, разработать тактику хирургического лечения. Высокоэффективными методами диагностики абсцессов печени являются УЗИ, СКТА. Двухэтапное рентгенофармакологическое исследование с морфоверификацией биоптатов в сочетании с УЗИ желудка, наполненного водой, или гастропневмокомпьютерной томографией или МРТ желудка, наполненного водой, позволяет диагностировать ранние формы эндофитного рака желудка, провести дифференциацию добро- и злокачественных изъязвлений желудка, стенозов пилородуоденопанкреатической зоны, диагностировать рак фатерова соска в 92±4,0% ($p < 0,001$). Чрескожная чреспеченочная холангиопанкреатография (ЧСХПГ) позволяет установить локализацию и типы опухоли Клатскина в 92% ($p < 0,001$).

Результаты исследования и их обсуждение. Первичный рак печени диагностирован у 398 (5,07%), гепатоцеллюлярный рак у 300 (4,07%, причем опухоли до 2 см выявлены в 12%), холангиоцеллюлярный рак диагностирован у 98 (1,35%) из 398 больных раком печени. Метастатическое поражение печени диагностировано в 46,4% (у 1412) случаев из общего числа (3035) онкологических больных. Доброкачественные очаговые поражения печени диагностированы у 274 больных, ОУГ – у 29, аденомы печени – у 19, гемангиомы – у 70, кисты и поликистоз печени – у 97, альвеококкоз печени – у 30 больных, абсцессы печени – у 30 больных. Рак пищевода установлен у 450 (6,7%) больных, рак желудка – у 863 (11,1%), рак легких – у 120 (1,51%), колоректальный рак – у 987 (12,6%), рак поджелудочной железы – у 110 (1,3%), рак почки – у 170 (2%), рак надпочечника – у 60 (0,9%). Первичный рак двенадцатиперстной кишки – у 89, рак головки ПЖ с прорастанием двенадцатиперстной кишки, желудка, поперечноободочнй кишки – у 75, опухоль Клатскина диагностирована у 87 больных с раковым поражением ГБПДЗ. Алгоритм комплексной клинико-лучевой диагностики позволил установить рак ГБПДЗ в 98% ($p < 0,001$) случаев.

Приводим алгоритмы лучевых методов исследования в диагностике патологии желудка и пилоропанкреатодуоденальной зоны (рис. 1), алгоритм комплексной клинико-лучевой дифференциальной диагностики рака внепеченочных желчных протоков, головки поджелудочной железы двенадцатиперстной кишки, пилорического канала (рис. 2).

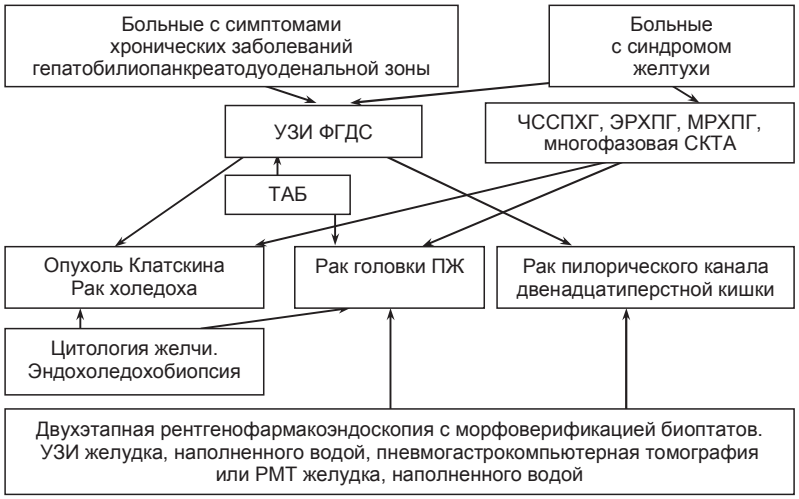


Рис. 1. Алгоритм комплексной клинико-лучевой дифференциальной диагностики рака внепеченочных желчных протоков, головки поджелудочной железы двенадцатиперстной кишки, пилорического канала



Рис. 2. Алгоритм комплексной клинико-лучевой дифференциальной диагностики рака внепеченочных желчных протоков, головки поджелудочной железы двенадцатиперстной кишки, пилорического канала

Выводы. 1. Двухэтапное рентгенофармакоэндоскопическое исследование с морфоверификацией биоптатов и дифференцированным использованием УЗ технологий, КТ или МРТ позволяет в 92±4,0% ($p < 0,001$) случаев диагностировать «малые» формы эндофитного рака желудка, провести дифференциацию добро- и злокачественных изъязвлений желудка, стенозов пилородуоденопанкреатической зоны различного генеза.

2. Алгоритм комплексной клинико-лучевой диагностики с проведением на первом этапе современных УЗ технологий, тонкоигольной аспирационной биопсии с дифференцированным использованием многофазовой СКТА, ЧССПХГ, МРХПГ, ЭРХПГ с цитологией желчи, эндохоледохобиопсии, с учетом результатов двухэтапой рентгеноэндоскопии, позволяет своевременно диагностировать рак гепатобилиопанкреатодуоденальной зоны и разработать совместно с онкологами тактику лечения.

Литература

1. Атлас клинико-лучевой диагностики заболеваний, функциональных нарушений, пороков развития, опухолевых поражений желудочно-кишечного тракта, кишечной непроходимости у взрослых и детей / *Р.Ф. Акберов, К.Ш. Зыятдинов, Е.В. Пузакин и др.* Казань, 2011. 255 с.

2. *Гранов А.М., Таразов П.Г., Гранов Д.А.* Интервенционная радиология в комбинированном хирургическом лечении рака печени // Вопросы онкологии. 2002. Т. 48, № 4-5. С. 480-488.

3. Современные возможности лучевой диагностики рака печени / *А.М. Гранов, Тютин Л.А., Розенгауз Е.В. и др.* // Вопросы онкологии. 2008. Т. 54. С. 410-416.

4. *Кармазановский Г.Г.* Спиральная компьютерная томография с болюсным контрастным усилением в абдоминальной хирургии. Ч. 1. Дооперационная диагностика // Медицинская визуализация. 2004. № 2. С. 17-25.

5. *Прозоровский К.В., Гранов А.М., Пручанский В.С.* Возможности ультразвукового допплеровского исследования в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных опухолей печени // Новые технологии в диагностике, интервенционной радиологии и хирургии печени и поджелудочной железы. СПб.: ЦНИИ РРИ, 2005.

6. *Розенгауз Е.В.* Псевдообразования печени по данным многослойной компьютерной томографии // Медицинская визуализация. 2006. № 1. С. 8-21.

7. *Розенгауз Е.В., Толстанова М.С., Станжевский А.А.* Возможности сочетанного применения многослойной компьютерной томографии (МСКТ) и позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) для оценки распространенности метастатического поражения печени // Новые технологии в интервенционной радиологии и хирургии печени и поджелудочной железы. СПб.: ЦНИИ РРИ, 2005.

8. Диагностика, комбинированное и лучевое лечение рака фатерова соска / *В.П. Харченко, Т.А. Лютфалиев, Е.В. Хмелевский и др.* // Вестник рентгенологии и радиологии. 2008. № 2-3. С. 16-20.

9. *Харченко В.П., Лютфалиев Т.А., Кунда М.А.* Современная комплексная диагностика панкреатобилиарного рака, осложненного синдромом желтухи // Вестник рентгенологии и радиологии. 2004. № 4. С. 30-33.

10. Significance of hyperattenuatting and contrast – enhanced hepatic nodules defected in the cirrhotic liver during arterial phase helical CT in preliver transplant patients: radiologic histologic correlation of explanted livers / *P.C. Freeny, M. Grossholz, K. Kaakaji et al.* // Abdom. Imaging. 2003. Vol. 28. P. 333-346.

11. Contrast – enhanced sonography in the characterization of small hepatocellular carcinomas in cirrhotic patients: comparison with contrast – enhanced ultrafast magnetic resonance imaging / *A. Giorgio, G. De Stefano, C. Coppola et al.* // Anticancer res. 2007. Vol. 27. P. 4263-4269.

12. Comparison of CT, MRI and CT during arterial portography in the detection of malignant hepatic lesions / *D. Kehagias, A. Metafa, A. Hatziioannou et al.* // Hepatogastroenterology. 2000. Vol. 47. P. 1399-1403.

13. *Maruyama H., Yoshikawa M., Yokosuka O.* Current role of ultrsount for management of hepatocellular carcinoma // World J. Gastroenterol. 2008. Vol. 21. P. 1710-1719.

14. *Oliva M.R., Saini S.* Liver cancer imaging: role of CT, MRI, US and PET // Cancer imaging. 2004. Vol. 2. P. 542-546.

15. Preoperative predictors of vascular invasion in hepatocellular carcinoma / *J. Sakata, Y. Shirai, T. Wakai et al.* // Europ. J. Surg. Oncol. 2008. Vol. 13. P. 1117-1129.

16. *Xiaxo X.G., Han X., Shan W.D., Li A.Y.* Multislice CT angiography by triple – phase enhancement in preoperative evaluation of hepatocellular carcinoma // Chin. Med. J. 2005. Vol. 20. P. 844-849.

ЗОГОТ СВЕТЛАНА РЕНАТОВНА. **См. с. 336.**

АКБЕРОВ РЕНАТ ФАЗЫЛОВИЧ. **См. с. 336.**

УДК 616.727. 2–002
ББК Р458.284*040

А.Н. КАРАЛИН, Г.В. КОКУРКИН, А.З. ВОЛКОВ

СИНДРОМ «КЛЮВОВИДНОГО ОТРОСТКА», ПЛЕЧЕЛОПАТОЧНЫЙ ПЕРИАРТРОЗ

Ключевые слова: *синдром, клювовидный отросток, плечелопаточный, периартроз, болезненное плечо, классификация.*

Предложена классификация болевого синдрома плечевого сустава под единым названием – синдром «клювовидного отростка» (СКО), которая основана на этиопатогенетических и клинических особенностях данной патологии. С учетом этиологии выделено два вида СКО: первичный и вторичный; с учетом патогенеза – 4 формы его развития: экстравертебральная, интравертебральная, вертебровисцеральная и висцеровертебральная. Клиническая манифестация представлена прогрессирующей картиной: болезненное плечо, плечелопаточный периартроз, «замороженное плечо», синдром «плечо – кисть».

A.N. KARALIN, G.V. KOKURKIN, A.Z. VOLKOV

«CORACOID» SYNDROME, HUMEROSCAPULAR PERIARTHRITIS

Key words: *syndrome, coracoid, humeroscapular, periarthritis, morbid brachium, classification.*

Classification of a pain syndrome of a humeral joint under the uniform name – a syndrome of «coracoids» (SKO) which is based on etiopatogenetic and clinical features of this pathology is offered. Taking into account an etiology two types of SKO are allocated: primary and secondary. From the point of view of a pathogenesis of development of SKO it is allocated 4 forms of its development: ekstravertebraly, intravertebraly, vertebrovistseraly and vistserovertebraly. The clinical manifestation is presented by a progressing picture: morbid brachium, humeroscapular periarthrosis, «the frozen brachium», syndrome «brachium brush».

По данным ВОЗ, от 5 до 30% активного трудоспособного населения в мире страдает от болевого синдрома в области плечевого сустава и связанного с этим нарушения функции последнего [1, 9]. При этом более 60% больных, обратившихся за медицинской помощью, становятся инвалидами, большинство из которых составляют мужчины [4, 6].

Болевой синдром в области плечевого сустава, как правило, ассоциируется у врачей со стандартным диагнозом – плечелопаточный периартроз (ПЛП). Плечелопаточный периартроз среди всех заболеваний шейно-плечевой области занимает ведущее место, составляя от 70 до 90% [9].

К сожалению, этот диагноз не позволяет более дифференцированно определить механизм развития болевого синдрома и, соответственно, провести патогенетическое лечение. В связи с этим пациенты лечатся длительно и не всегда успешно. Нами предлагается дифференцированная классификация болевого синдрома плечевого сустава. В основу ее положен механизм, который объединяет многочисленные варианты болевого синдрома плечевого сустава, под единым названием: синдром «клювовидного отростка». Это позволит более качественно решать вопросы диагностики, лечения и профилактики этого заболевания.

Учитывая анатомические особенности зоны клювовидного отростка, его биомеханику (как основного центра нагрузки и фиксации верхней конечности и лопатки), считаем, что такие виды клинического проявления боли в области плечевого сустава, как болезненное плечо, плечелопаточный периартроз, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть», являются единой формой манифестации, связанной с патологией в зоне клювовидного отростка. Данную патологию с учетом единого пускового механизма клинической манифестации, связанного с зоной клювовидного отростка и постепенно охватывающего все параартикулярные отделы плечевого сустава, проявляющегося разнообразием симптомов, мы называем *синдром «клювовидного отростка».*

Действительно, если обратиться к анатомическим особенностям зоны клювовидного отростка, то выявляется четкая связь его со всеми структурами пле-

чевого сустава – надостной мышцей, сухожилием длинной и короткой головок бицепса, капсулой плечевого сустава, синовиальной подакромиальной сумкой, малой грудной мышцей, которые участвуют в возникновении болезненного плеча. Повреждение зоны клювовидного отростка или любой из этих структур обязательно взаимозависимы. Повреждение клювовидного отростка будет сопровождаться изменениями в зоне надостной мышцы, капсулярной зоне, области длинной и короткой головок бицепса, малой грудной мышце. Причем одни из этих изменений могут усугубляться дополнительной травмой вместе с зоной клювовидного отростка. Иногда клинически это проявляется болезненным плечом на фоне частичного или полного разрыва надостной мышцы; повреждения сухожилия длинной головки бицепса. В других случаях это может проявиться тендинозом сухожилия длинной головки бицепса или короткой головки и сухожилия клюво-плечевой мышцы, бурситом, чаще всего поддельтовидным; капсулитом, переходящим в адгезивный капсулит; синдромом «плечо – кисть», при нейромиофиброзе малой грудной мышцы и т.д. Следовательно, все многообразие видов и форм клинического проявления болезненного плеча, известных под многочисленными названиями, являющихся *полиэтиологическими по своей сути,* укладываются в единую схему, первоначально связанную с патологией зоны клювовидного отростка. Это может быть обусловлено не только макро- или микротравмой, но и ирритативными очагами в шейном отделе позвоночника и внутренних органов [8, 10, 11]. Схема развития патологии плечевого сустава, предложенная Р.А. Зулкорнеевым (1974), укладывается в наше предложение: различные формы болезненного плеча – это единый патологический процесс, но только в разные периоды его течения и с различными формами проявления [2].

По нашему мнению, причина развития «болезненного плеча» (или синдрома «клювовидного отростка» при стенокардии и инфаркте миокарда) в том, что к клювовидному отростку прикрепляется малая грудная мышца. Во время болевого сердечного приступа через вегетативную нервную систему возникает иррадиирущая боль в зону малой грудной мышцы. Следствием этого являются рефлекторный мышечный спазм ее и, соответственно, напряжение сухожилия, фиксированного к *клювовидному отростку.*

Первоначальным толчком к развитию синдрома «клювовидного отростка» служит повреждение зоны этого анатомического образования. Поэтому по своей первопричине – это многоэтапная патология. Но травма зоны клювовидного отростка может сопровождаться повреждением других анатомических структур зоны надплечья и плечевого сустава. Они могут служить толчком к развитию различных форм «болезненного плеча» (ПЛП, замороженное плечо и т.д.), однако в посттравматическом периоде синдром «клювовидного отростка» может проявляться в виде различных патологических процессов: надклювовидного бурсита, оссификации ключично-клювовидной связки, тендинита короткой головки бицепса, остеомиофиброза малой грудной мышцы. При характерном клиническом проявлении синдрома «клювовидного отростка» мы имеем разнообразную патологоанатомическую картину. Если не учитывать механизм развития «болезненного плеча», то невозможно обеспечить правильное лечение патологии, имеющейся в зоне клювовидного отростка, и при этом патологический процесс прогрессирует.

Идет нарастание клинической картины от одной ее формы – болезненное плечо к другой – ПЛП и т.д. В диагнозе синдрома «клювовидного отростка», помимо клинической формы его проявления (болезненное плечо, ПЛП, адгезивный капсулит, синдром «плечо – кисть»), имеются сопутствующие факторы: разрыв надостной мышцы, оссифицирующий бурсит и т.д. Кроме того, необходимо указать период течения – острый, подострый, хронический. Также необходимо выделить возможность вертеброгенных [7] и висцеральных проявлений [3].

Изучение классификации болезненного плеча различных авторов показывает, что в большинстве из них происходит перечисление одних и тех же патологических состояний (болезненное плечо, ПЛП, синдром «плечо – кисть» и т.д.) только под различными названиями. Одни авторы в классификации в основу этого перечня кладут этиологический принцип, другие – клинические особенности [4, 5].

Интересный вариант классификации предлагает Р.А. Зулкорнеев (1979). В ней впервые вводится представление об этапности развития клинических форм проявлений болезненного плеча с выделением трех видов: 1) первичные; 2) ассоциативные; 3) вторичные [2].

К первичной форме (первый период) он относит ПЛП без ограничения движений в плечевом суставе; болезненное плечо (ирритативный капсулез); тендинозы сухожилий мышц, связанных с плечевым суставом: подостной, двуглавой, наружного ротатора. К ассоциативным формам (второй период) он относит ПЛП с ограничением движений в плечевом суставе – замороженное плечо (адгезивный капсулез). К вторичным формам – синдром «плечо – кисть». То есть Р.А. Зулкорнеев впервые попытался систематизировать многочисленные виды болезненного плеча по интенсивности их проявления. Однако из его классификации не совсем ясна этиология, а тем более патогенез развития той или иной формы болезненного плеча. Далее в какой-то степени вносится сложность понимания генеза развития патологического процесса. Например, понятие «вторичные формы», под которыми подразумевается синдром «плечо – кисть», больше сводится к понятию проявления болезненного плеча в результате патологических изменений со стороны нервной системы или внутренних органов.

Как и Р.А. Зулкорнеев, мы считаем, что различные формы болевого синдрома плечевого сустава: болезненное плечо, ПЛП, адгезивный капсулит и синдром «плечо – кисть» – это единый патологический процесс, имеющий начало (пусковой механизм) и максимальную стадию развития: синдром «плечо – кисть».

Клинические формы его проявления различны, но само патологическое начало связано с единым нейродистрофическим процессом в верхней конечности, возникающим рефлекторно в результате местного очага раздражения в области плечевого сустава или шейного отдела позвоночника, или внутренних органов. К сожалению, Р.А. Зулкорнеев не отразил в своей классификации возможные варианты этих рефлекторных механизмов. Мы попытались это сделать в предлагаемой нами классификации.

Патологические изменения, развивающиеся в области плечевого сустава под различными названиями (болезненное плечо, ПЛП, адгезивный кансулит, синдрома «плечо – кисть»), толчком к которым служит, по нашему мнению, повреждение в зоне клювовидного отростка, являются единым нейродистрофическим процессом. Начавшись в зоне клювовидного отростка, в силу анатомиеских особенностей плечевого сустава (тесного взаимодействия всех его структур с зоной клювовидного отростка) нейродистрофический процесс распространяется на другие структуры сустава: сухожилия – biceps brachii, надостную мышцу, малую грудную, капсулу сустава, бурсы сустава, связки сустава, периферические нервы и сосуды. Отсюда такое многообразие и пестрота клинической картины.

С учетом этого следует при планировании лечения учитывать не только тот период клинического проявления, который выявляется во время обращения больного, но и пусковой его механизм. Последним в большинстве случаев является травматизация зоны клювовидного отростка, клиническое проявление которого мы, по комплексу симптомов, называем синдром «клювовидного отростка».

К классическим видам клинического проявления нейроостеофиброзных форм болезненного плеча следует отнести синдром «клювовидного отростка» – ПЛП, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть». Другие формы про-

явления болезненного плеча, такие как: разрыв сухожилия надостной мышцы с вторичным акромио-бугорковым артрозом; обызвествляющийся тендиноз сухожильно-капсулярного участка наружных ротаторов плеча с вторичным субакромиальным бурситом; надрыв сухожилия двуглавой мышцы плеча; полный застарелый разрыв наружных ротаторов плеча; артроз акромиально-ключичного сочленения – нельзя относить к классическому проявлению нейростеофибризной формы болезненного плеча. Это самостоятельные клинические проявления локальных повреждений анатомических структур плечевого сустава, отличающиеся по этиологии и патогенезу развития, хотя и имеющие общие клинические проявления: болезненность в зоне плечевого сустава, ограничение функции. Они, как указано выше, также способствуют развитию синдрома «клювовидного отростка», но требуют другой тактики лечения.

Считаем, что в дифференциальной диагностике синдрома «клювовидного отростка» с учетом этиологии следует выделить два вида: первичный и вторичный [11, 12].

К первичному виду СКО следует отнести: синдром «клювовидного отростка» (ПЛП, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть») (т.е. нейроостеофиброзные формы). К вторичному – все остальные клинические проявления, не связанные с нейроостефиброзной патологией: оссифицирующий бурсит, надрывы ротаторов или бицепсов, деформирующий артроз акромеально-ключичного сочленения, вертебральные и висцеральные очаги.

В отличие от Р.А. Зулкорнеева под первичным видом мы понимаем клиническую картину, возникающую в зоне плечевого сустава как результат первичной травматизации зоны клювовидного отростка, а под вторичным видом – вторичную реакцию зоны клювовидного отростка на патологические процессы, возникающие вследствие ирритации с очагов поражения как из зоны самого плечевого сустава, так и с шейного отдела позвоночника и внутренних органов.

Например, начальный период синдрома «клювовидного отростка» в виде «болезненного плеча» может проявиться как результат травмы зоны клювовидного отростка (первичный вид). В то же время он может развиться как результат вторичного, афферентного воздействия на зону клювовидного отростка вследствие возникновения патологической нейрорефлекторной дуги из отдаленных участков как самого плечевого сустава, так и вертебральных и висцеральных отделов (вторичный вид).

С патогенетической точки зрения можно выделить 4 формы развития синдрома «клювовидного отростка»:

Экстравертебральная форма – патологическое состояние развивается только на фоне первоначальной травмы плечевого сустава (в зоне клювовидного отростка), болезненность в шейном отделе может отсутствовать.

Интраверетебральная форма – когда на фоне травмы плечевого сустава выявляются активная картина синдрома «клювовидного отростка» и клиника остеохондроза шейного отдела позвоночника на уровне CIV – T hI.

Вертебровисцеральная форма – когда после травмы плечевого сустава развиваются клиника шейного остеохондроза, патология внутренних органов и синдром «клювовидного отростка».

Висцеровертебральная форма – когда на фоне травмы плечевого сустава развиваются клиника патологии внутренних органов, шейного остеохондроза и синдром «клювовидного отростка».

При прогрессировании клиники начального периода синдрома «клювовидного отростка» – болезненного плеча – могут, как мы указывали, развиваться последующие, более тяжелые клинические периоды его проявления: ПЛП, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть».

При этих патологических состояниях появляются новые очаги раздражения. Так, при ПЛП начинают вовлекаться дополнительные мышечные группы, бурсы и т.д., при замороженном плече – капсула сустава, а при синдроме «плечо – кисть» – сосудисто-нервное образование.

Считаем, что классификация синдрома «клювовидного отростка» должна строиться на основании этиопатогенетического принципа с учетом периодов клинического течения и причины возникновения патологического процесса (первичный и вторичный вид), а также механизма его развития и периода клинической манифестации.

С учетом этиологии мы предлагаем два вида СКО.

Первичный вид – первичные посттравматические нейроостеофиброзные проявления в зоне клювовидного отростка.

Вторичный вид – где нейроостеофиброзные проявления в зоне клювовидного отростка проявляются вторично в результате оссификации бурс, деформирующего артроза акромиально-ключичного сочления, надрыва сухожилий.

Выделяем четыре формы развития СКО: экстравертебральная, интравертебральная, вертебровисцеральная и висцеровертебральная.

Периоды клинической манифестации СКО представлены нами по прогрессирующей картине (от начальной – легкой формы до конечной – крайне тяжелой): болезненное плечо, плечелопаточный периартроз, «замороженное плечо», синдром «плечо – кисть».

Всегда следует помнить, что пусковым механизмом развития клиники синдрома «клювовидного отростка» является травма плечевого сустава. При этом прежде всего страдает его слабое звено – зона клювовидного отростка, что ведет, если не проводить лечение, к развитию синдрома «клювовидного отростка». А если еще имеются усугубляющие соматические или неврологические факторы, это также может спровоцировать развитие синдрома «клювовидного отростка». Незнание врачами механизма развития этой патологии приводит к тому, что патологический процесс в зоне клювовидного отростка начинает нарастать, в него вовлекаются дополнительные анатомические структуры, которые формируют клиническую картину: ПЛП, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть».

Лечение каждой из составляющих этого патологического процесса без воздействия на зону клювовидного отростка нередко создает большие трудности в получении положительного результата. Так, при первичном виде синдрома «клювовидного отростка» лечение должно начинаться с воздействия на область клювовидного отростка. Только купируя с помощью лечебных процедур все патологические процессы в этой области, можно надеется на успех в лечении и той клинической формы (болезненное плечо, ПЛП, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть»), с которой больной обратился к врачу.

При вторичном виде синдрома «клювовидного отростка» необходимо первоначальное устранение состояний, создающих патологическую ирритацию в зоне клювовидного отростка: оссифицирующего бурсита, тендинита, повреждения сухожилий и т.д.

И в первом, и во втором случаях обязательным условием успешности лечения должно быть воздействие на факторы, усугубляющие проявление синдрома «клювовидного отростка»: соматические и вертеброгенные нарушения.

Выводы. 1. Предлагаемая классификация позволяет ответить на ряд вопросов, связанных с наиболее распространенной патологией плечевого сустава – плечелопаточным периартрозом: выявить начальный, пусковой механизм (зона клювовидного отростка) данного патологического процесса; обозначить всю разнообразную клиническую картину как единый патологический

процесс под названием синдром «клювовидного отростка» в различных стадиях его развития; кроме того, выделить разновидности этой патологии, в которых отражается заинтересованность шейного отдела позвоночника и внутренних органов.

2. Впервые представлена классификация, где патология зоны клювовидного отростка обозначена не как локальный патологический процесс плечевого сустава (коракоидит), а как обобщающая патология плечевого сустава, объединяющая под единым названием «синдром клювовидного отростка» все многочисленные разновидности ее клинического проявления.

3. В основу классификации положены три основных принципа патологического процесса – этиология, патогенез и клинические особенности.

4. Предлагаемая классификация позволяет принципиально по-новому взглянуть на клиническую проблему плечелопаточного периартроза и других патологических состояний плечевого сустава (болезненное плечо, замороженное плечо, синдром «плечо – кисть» и т.д.) и, соответственно, более дифференцированно решать вопросы диагностики и лечения.

Литература

1. *Архипов С.В.* Артроскопический метод эндоскопического лечения субакромиальной компрессии ротаторной манжеты плеча // Анналы травматологии и ортопедии. 1998. № 2-3. С. 105-112.

2. *Зулкорнеев Р.А.* «Болезненное плечо», плечелопаточный периартрит и синдром «плечо – кисть». Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1979. 309 с.

3. *Мозолевский Ю.В.* Боль в области плечевого сустава // Неврологический журнал. 2000. Т. 5, № 4. С. 4-9.

4. *Никифоров А.С., Мендель О.И.* Плечелопаточный болевой синдром: современные подходы к диагностике и лечению // Российский медицинский журнал. 2006. Т. 14, № 8. С. 621-626.

5. *Новиков Ю.Г., Антропов В.К., Мелехов С.З.* Плечевой сустав. Анатомо-функциональные особенности, биомеханика: учеб. пособие. Смоленск: Изд-во СГМА, 1997. 23 с.

6. *Попелянский Я.Ю.* Ортопедическая неврология (вертеброневрология): руководство для врачей. М.: МЕД Пресс-информ, 2003. 670 с.

7. *Almekinders L.C.* Impingement syndrome // Clin. Sports Med. 2001. Vol. 20, № 3. P. 491-504.

8. *Annaert J.M., Peetrons P., Famaey J.P.* Paraclinical diagnostic procedures in micro- and macrotraumas of the shoulder. Indications for echography and CT scanning // Rev. Med. Brux. 1990. Vol. 3, № 11. P. 47-53.

9. *Banks K.P., Bui-Mansfield L.T., Chew F.S., Collinson F.* A compartmental approach to the radiographic evaluation of soft-tissue calcifications // Semin Roentgenol. 2005. Vol. 40, № 4. P. 391-407.

10. Detection of subacromial bursa thickening by sonography in shoulder impingement syndrome / *Y.H. Tsai, T.J. Huang, W.H. Hsu et al.* // Chang. Gung. Med. J. 2007. Vol. 30, № 2. P. 135-141.

11. *Middleton W.D., Teefey S.A., Yamaguchi K.* Sonography of the rotator cuff: analysis of interobserver variability // Am. J. Roentgenol. 2004. Vol. 183, № 5. P. 1465-1468.

КАРАЛИН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры экстремальной медицины, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (extrem1970@mail.ru).

KARALIN ALEXANDER NIKOLAEVICH – doctor of medical sciences, professor of Extreme Medicine Chair, Chuvash State university, Russia, Cheboksary.

КОКУРКИН ГЕННАДИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, Россия, Чебоксары (g.kokurkin@)mail.ru).

KOKURKIN GENNADY VASILYEVICH – doctor of medical sciences, Russia, Cheboksary.

ВОЛКОВ АЛЕКСЕЙ ЗЕНОНОВИЧ – главный врач, Республиканская поликлиника восстановительного лечения, Россия, Чебоксары (ipvert@medinform.su).

VOLKOV ALEXEY ZENONOVICH – chief physician, Republican Out-patient Department of Recovery Treatment, Russia, Cheboksary.

УДК 616.24+612.2

Л.М. КАРЗАКОВА, Е.П. АЛЕКСЕЕВА, Л.Н. КУЗНЕЦОВА,
О.М. МУЧУКОВА, Н.Д. УХТЕРОВА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНИ ЛЕГКИХ НА ОСНОВЕ ТОПИЧЕСКОЙ ЦИТОКИНОТЕРАПИИ

Ключевые слова: *хроническая обструктивная болезнь легких, системный иммунный ответ, местный иммунитет, цитокинотерапия.*

Представлены результаты лечения больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) с использованием топической цитокинотерапии суперлимфом. Предложенный способ лечения обеспечивает улучшение бронхиальной проходимости, сокращение сроков достижения ремиссии данного заболевания, повышение исходно сниженных показателей содержания в крови Т-лимфоцитов, Т-хелперов, цитотоксических Т-лимфоцитов, а также – коррекцию фагоцитарной активности макрофагов и нейтрофилов в бронхиальном содержимом.

**L.M. KARZAKOVA, E.P. ALEKSEEVA, L.N. KUZNETSOVA,
O.M. MUCHUKOVA, N.D. UKHTEROVA**

IMPROVING THE TREATMENT OF CHRONIC OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE WITH TOPICAL TREATMENT WITH CYTOKINES

Key words: *chronic obstructive lung disease, systemic immune response, local immunity, cytokine therapy.*

The paper presents the results of treatment of chronic obstructive lung disease patients, treated with cytokine drug Superlymph. The proposed method of treatment promotes improvement of bronchial obstruction, accelerates remission, increases the content of initially reduced T-lymphocytes, T-helper and cytotoxic T-lymphocytes, corrects the phagocytic activity of macrophages and neutrophils in bronchial lavage fluid.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) представляет собой одну из важнейших медицинских и социально-экономических проблем в связи с широкой распространенностью, прогрессирующим течением, сокращением продолжительности жизни больных [6]. ХОБЛ относится к числу наиболее распространенных и социально значимых заболеваний как в целом по России, так и на территории Чувашии, где наблюдается прогрессирующий рост показателей распространенности и летальности по этому заболеванию. Главные факторы риска развития ХОБЛ – курение, загрязнение воздуха промышленными и бытовыми полютантами и неблагоприятная экология жилища [9]. Известно, что под влиянием длительного воздействия факторов риска формируется хроническое воспаление, являющееся ключевым механизмом патогенеза ХОБЛ. В поддержании хронического воспаления при ХОБЛ значительную роль играют микроорганизмы, колонизация дыхательных путей которыми поддерживается несостоятельностью иммунологических механизмов защиты макроорганизма.

Факт обнаружения при гистопатологическом исследовании у больных ХОБЛ инфильтрации Т-клеток и увеличенного количества нейтрофилов и макрофагов в биоптатах бронхиол, воздухоносных путях и паренхиме легких свидетельствует об участии в патогенезе этого заболевания как факторов врожденного, так и приобретенного иммунитета [7, 8]. В ранее проведенных исследованиях было показано, что у больных ХОБЛ на системном уровне иммунного ответа активизирован гуморальный механизм, угнетен клеточный тип антигензависимого (приобретенного) иммунитета и нарушена фагоцитарная активность лейкоцитов. В бронхоальвеолярных смывах обнаружено повышение содержания иммуноглобулинов, уменьшение числа альвеолярных макрофагов, а также – снижение функциональной активности макрофагов и нейтрофилов слизистой бронхов [4]. Выявленные иммунологические нарушения у больных ХОБЛ предполагают неуклонное ослабление защитных систем органов дыхания, что создает благоприятные условия для инфицирования респираторной системы, непрерывного, про-

гредиентного течения заболевания на фоне проводимых курсов стандартной традиционной терапии. Применяемые методы направлены лишь на восстановление проходимости бронхов и задержку прогрессирования заболевания. По всей видимости, следует разрабатывать и внедрять для лечения ХОБЛ новые методы лечения, ориентированные на устранение иммунологических нарушений в респираторном тракте.

Целью исследования явилось совершенствование схемы лечения ХОБЛ с использованием топической цитокинотерапии суперлимфом.

Суперлимф является лекарственной формой комплекса природных цитокинов, включающего факторы роста, про- и противовоспалительные цитокины – интерлейкин (ИЛ)-1, ИЛ-2, ИЛ-6, фактор некроза опухоли (ФНО), фактор, ингибирующий миграцию фагоцитов (МИФ), трансформирующий фактор роста (ТФР), и представляет собой лиофилизат для местного и наружного применения (ампулы 0,1 мг, ООО «Центр иммунотерапии “Иммунохелп”», Россия, регистрационное удостоверение № РМ002447/01-2003).

Материалы и методы исследования. В исследование были включены 50 пациентов с ХОБЛ II стадии в возрасте от 17 до 74 лет (средний возраст – 46,4±17,9 года) – 34 мужчины и 16 женщин, госпитализированных в пульмонологическое отделение Республиканской клинической больницы Минздравсоцразвития Чувашской Республики в период обострения (пациенты с хроническими симптомами ХОБЛ – кашель с отхождением мокроты, экспираторная одышка, имевшие показатели функций внешнего дыхания – $ОФВ_1$/ФЖЕЛ менее 70% от должного и ОФВ1 менее 80% от должного). Обследованные были разделены на две группы. При лечении первой группы больных (основная группа, $n = 25$) использовали разработанный нами метод лечения, включающий стандартную терапию (антибактериальные, бронхолитические, муколитические препараты) в сочетании с эндобронхиальным введением суперлимфа над уровнем бифуркации трахеи в дозе 30-50 мкг в 3 мл 0,9%-ного раствора хлорида натрия курсом 3 процедуры через 3 дня [3]. Вторая группа (группа сравнения, $n = 25$) пациентов получала лишь стандартную терапию. Группы были репрезентативны по половозрастному составу, наличию сопутствующей патологии, продолжительности заболевания, характеру эндобронхита.

Исследование функции внешнего дыхания включало проведение спирометрии (измерение $ОФВ_1$, ЖЕЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_1$/ФЖЕЛ).

Из иммунологических исследований проводилось иммунофенотипирование мононуклеарных клеток периферической крови методом непрямой иммунофлюоресценции с использованием моноклональных антител CD3, CD4, CD8, CD20, CD25, CD95 («Сорбент», Москва), определение концентрации сывороточных иммуноглобулинов – IgM, IgG, IgA по Манчини, общего IgE методом иммуноферментного анализа (набор ИФА-реагентов ЗАО «Вектор-Бест»), циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) методом осаждения полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000), латекс-тест и НСТ-тест (тест восстановления нитросинего тетразолия) с целью оценки фагоцитарной и метаболической активности фагоцитов согласно стандартным методикам [5] дважды (на 3-и сутки стационарного лечения и в конце стационарного лечения – на 12-е сутки). Объектами исследования служили венозная кровь и бронхоальвеолярная лаважная жидкость (БАЛЖ).

Полученные данные обрабатывали с использованием прикладного рабочего пакета статистического анализа «Statistica v. 6.0». Если распределение частностей признака приближалось к нормальному, то данные представляли в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка средней арифметической. При сравнении двух выборок для оценки достоверности различий применяли t-критерий Стьюдента (p), для сопряженных групп – парный тест Стьюдента. При асимметричности распределения совокупности значений

показателей в группах вычисляли медиану (*Me*), границы варьирования изучаемой совокупности определяли в пределах от нижнего до верхнего квартилей (P_{25}-P_{75}), а достоверность различий оценивали по непараметрическим критериям Манна–Уитни ($p_{m\text{-}w}$) и Вальда–Вольфовица ($p_{w\text{-}w}$) для независимых группировок, по критерию Вилкоксона (p_w) – для сопряженных групп.

Результаты исследования и их обсуждение. Назначение суперлимфа привело к выраженному иммунологическому эффекту (табл. 1). У пациентов на фоне применения препарата отмечалось достоверное уменьшение абсолютного числа нейтрофилов относительно показателей группы сравнения ($p_{w\text{-}w} < 0,05$). Увеличение числа лимфоцитов наблюдалось преимущественно за счет Т-лимфоцитов – $CD4^+$ и $CD8^+$-субпопуляций. Со стороны гуморального звена иммунной системы было отмечено снижение исходно повышенного уровня IgG у больных основной группы на 9%. Уровень общего IgE снизился в 2,3 раза. Наблюдалось более выраженное снижение концентрации ЦИК ($p_w < 0,001$) по сравнению с аналогичным показателем в группе сравнения ($p_w < 0,05$).

Таблица 1

Динамика иммунологических показателей у больных ХОБЛ под влиянием различных методов лечения

Показатели	Стандартная терапия (n = 25)		Стандартная терапия + суперлимф (n = 25)	
	на 3-й день	на 12-й день	на 3-й день	на 12-й день
Лейкоциты, $\times10^6$/л	5700,0 {4500,0; 7600,0}	6800,0 {5700,0; 7800,0}	6200,0 {4500,0; 7700,0}	6050,0 {5150,0; 7950,0}
Нейтрофилы,%	64,0 {60,0; 68,0}	66,5 {56,5; 70,5}	65,0 {61,0; 73,0}	64,5 {59,5; 68,5}
Нейтрофилы, $\times10^6$/л	3584,0 {2914,5; 5534,0}	4253,0 {3265,0; 5476,5}	4104,0 {3120,0; 5025,0}	4084,0 {2999,0; 5164,0}#
Лимфоциты,%	33,0 {29,5; 34,0}	30,0 {24,0; 40,0}	31,0 {24,0; 34,0}	32,0 {28,0; 39,0}*
Лимфоциты, $\times10^6$/л	1886,0 {1408,0; 2176,0}	2105,0 {1469,5; 2609,0}	1632,0 {1360,0; 1950,0}	1937,0 {1467,0; 2699,5}*
$CD3^+$,%	47,0 {44,0; 52,0}	46,0 {35,0; 53,0}	44,0 {40,5; 56,5}	49,5 {37,0; 57,0}
$CD3^+$, $\times10^6$/л	891,5 {581,4; 1188,6}	879,5 {766,6; 1083,3}	797,2 {601,8; 891,3}	957,6 {848,0; 1007,4}*
$CD4^+$,%	26,0 {24,0; 36,0}	22,5 {20,0; 33,0}	30,0 {22,0; 35,0}	25,0 {21,0; 37,0}
$CD4^+$, $\times10^6$/л	549,5 {338,6; 734,4}	538,9 {428,0; 688,0}	455,0 {340,0; 584,3}	564,2 {485,1; 690,0}*
$CD8^+$,%	21,0 {17,0; 24,0}	20,5 {16,0; 23,5}	21,0 {17,0; 23,0}	24,5 {17,0; 27,0}
$CD8^+$, $\times10^6$/л	353,3 {281,6; 498,4}	425,8 {305,1; 503,8}	314,2 {253,0; 369,8}	427,3 {340,3; 590,0}*
$CD4^+/CD8^+$	1,4 {1,0; 1,6}	1,3 {1,1; 1,6}	1,5 {1,2; 1,8}	1,5 {1,1; 1,6}
$CD20^+$,%	12,0 {8,0; 18,0}	14,0 {9,0; 20,0}	16,0 {11,0; 26,0}	15,0 {14,0; 22,0}
CD20, $\times10^6$/л	244,2 {133,7; 382,7}	260,9 {182,7; 439,4}	231,9 {170,5; 446,9}	325,0 {208,3; 403,2}
$CD95^+$,%	15,0 {8,0; 20,0}	14,5 {12,0; 16,0}	14,0 {11,0; 19,0}	11,5 {9,0; 17,0}
$CD95^+$, $\times10^6$/л	260,1 {163,2; 387,6}	291,2 {191,0; 350,0}	251,3 {175,1; 310,1}	219,8 {146,1; 381,5}
IgM, г/л	1,4 {1,2; 2,2}	1,5 {1,2; 1,8}	1,4 {1,0; 1,7}	1,6 {0,9; 2,0}
IgG, г/л	11,0 {9,8; 12,3}	11,4 {10,0; 12,7}	11,0 {9,0; 16,2}	10,0 {9,0; 11,0}*
IgA, г/л	2,2 {1,6; 3,7}	2,2 {1,6; 3,7}	2,2 {1,7; 3,6}	2,0 {1,8; 4,0}

Окончание табл. 1

Показатели	Стандартная терапия (n = 25)		Стандартная терапия + суперлимф (n = 25)	
	на 3-й день	на 12-й день	на 3-й день	на 12-й день
IgE общий, МЕ/л	97,9 {60,8; 130,9}	62,6 {56,2; 93,5}	65,0 {30,3; 87,5}	28,9 {5,3; 44,3}*
Фагоцитарный индекс,%	51,0 {48,0; 56,0}	55,0 {51,0; 57,0}	52,0 {49,0; 57,0}	52,0 {44,0; 59,0}
Фагоцитарное число, у.е.	3,9 {3,1; 4,5}	3,6 {3,2; 4,1}	3,7 {3,1; 4,0}	3,8 {3,2; 4,1}$^{\#}$
ЦИК, у.е.	27,0 {20,0; 36,0}	10,5 {6,5; 19,0}*	22,0 {19,0; 33,0}	8,0 {4,0; 15,0}***

Примечания. Данные представлены в виде $Me\{P_{25}; P_{75}\}$. Достоверность различий между значениями показателей больных в динамике лечения по критерию Вилкоксона: * – $p_w < 0,05$; ** – $p_w < 0,01$; *** – $p_w < 0,001$. $^{\#}$ $p_{w\text{-}w} < 0,05$ – достоверность различий между показателями сравниваемых групп по критерию Вальда–Вольфовица.

Таким образом, исследуемый препарат оказал значительное иммуномодулирующее влияние на адаптивный иммунный ответ на системном уровне (повышение показателей клеточного звена на фоне снижения активности гуморальной составляющей иммунитета) и процессы фагоцитоза.

На местном уровне на фоне стандартной терапии у пациентов отмечался рост концентрации иммуноглобулинов в БАЛЖ: IgM – в 2,1 раза, IgG – в 3,7 раза, IgA – в 2,1 раза (табл. 2). При подключении суперлимфа такой стимуляции не отмечалось, содержание иммуноглобулинов оставалось на исходном уровне.

Таблица 2

Показатели эндоцитограммы и содержания иммуноглобулинов в БАЛЖ у больных ХОБЛ под влиянием различных методов лечения

Показатели	Стандартная терапия (n = 19)		Стандартная терапия + суперлимф (n = 19)	
	на 3-й день	на 12-й день	на 3-й день	на 12-й день
Нейтрофилы,%	67,8±5,05	76,4±5,8	59,8±7,2	64,3±6,4
Альвеолярные макрофаги,%	13,7±2,6	12,9±2,8	17,4±3,8	19,2±3,9
Лимфоциты,%	2,5±0,2	4,5±0,4	3,7±0,3	4,1±0,3
ФИ макрофагов,%	41,5±5,4	40,5±6,4	33,1±3,9	49,7±5,5*
ФЧ макрофагов	2,6±0,3	2,4±0,3	3,9±0,4	3,8±0,2*#
ФИ нейтрофилов,%	24,3±4,6	22,8±3,8	20,9±3,8	27,9±4,1
ФЧ нейтрофилов	2,1±0,1	2,0±0,1	2,6±0,3	2,2±0,2
% $НСТ^{+}$-макрофагов	17,7±3,5	25,6±3,5	20,4±2,5	27,6±3,1
% $НСТ^{+}$-нейтрофилов	7,3±1,9	7,8±1,2	5,3±0,8	8,5±2,0
IgM, г/л	7,1±2,5	14,6±4,4*	14,7±4,2	6,7±1,8
IgG, г/л	4,8±2,1	17,6±5,7*	9,0±3,1	10,7±3,2
IgA, г/л	1,1±0,3	3,2±1,0**	2,9±0,9	1,8±0,4

Примечания. В табл. 2 и 3 данные представлены в виде $M±m$; ФИ – фагоцитарный индекс; ФЧ – фагоцитарное число; * – достоверность различий между значениями показателей больных в динамике лечения по парному тесту Стьюдента: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$; # – $p < 0,05$ – достоверность различий между показателями сравниваемых групп по критерию Стьюдента.

Суперлимф оказал также местное корригирующее действие на активность фагоцитов в бронхиальном содержимом. У пациентов из основной группы увеличилось после проведенного курса лечения фагоцитарное число альвеолярных макрофагов и превысило аналогичный показатель группы сравнения. Параллельно с этим повысился у этих же пациентов фагоцитарный индекс.

Применение суперлимфа позволило достичь значительного клинического улучшения состояния пациентов за счет улучшении функционального состояния органов дыхания (табл. 3). Отмечено достоверное улучшение как объемных, так и емкостных показателей спирограммы. Без применения суперлимфа достоверного улучшения бронхиальной проходимости у больных ХОБЛ до-

биться не удалось. Число дней госпитализации в группе пациентов, получавших суперлимф, было достоверно меньше (16,30±1,20 койко-дня, против 19,78±0,79 койко-дня в группе сравнения) ($p < 0,05$).

Таблица 3

Показатели функции внешнего дыхания у больных ХОБЛ под влиянием различных методов лечения

Показатели	Больные на фоне стандартной терапии ($n = 25$)		Больные на фоне суперлимфа ($n = 25$)	
	на 3-й день	на 12-й день	на 3-й день	на 12-й день
ЖЕЛ,%	77,0±4,6	76,5±4,2	68,3±4,4	75,2±5,2*
ФЖЕЛ,%	63,8±4,5	63,0±4,1	57,6±4,8	63,9±5,3
ОФВ1,%	64,5±4,6	61,0±3,7	56,3±4,6	66,8±4,8**
ОФВ1/ФЖЕЛ,%	73,6±3,1	70,1±2,8	70,8±3,1	76,4±2,5*
ПОС,%	52,5±4,0	56,3±4,8	45,5±4,7	54,8±4,7*
МОС 75,%	48,4±4,6	53,9±5,0	40,8±5,7	51,7±5,6**
МОС 50,%	46,6±4,6	50,6±6,1	42,9±5,7	46,9±5,4
МОС 25,%	55,7±5,0	64,4±8,0	51,0±5,5	55,9±7,1

Примечание. Достоверность различий между значениями показателей больных в динамике лечения по парному тесту Стьюдента: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$.

Результаты исследования показали, что предложенный нами комплексный метод лечения ХОБЛ, включающий эндобронхиальное введение суперлимфа, обеспечивал выраженное улучшение общего состояния и достижение клинико-лабораторной ремиссии. У больных существенно улучшалась бронхиальная проходимость.

Клинические эффекты суперлимфа во многом связаны с его иммуномодулирующим действием на системном уровне и местном – в респираторной системе. Прежде всего следует отметить его местное стимулирующее действие на фагоцитарную активность альвеолярных макрофагов. Данный эффект препарата связан с его способностью индуцировать выработку клетками моноцитарно-макрофагального ряда собственных цитокинов, активных форм кислорода и азота, регулировать их миграцию [1]. На фоне суперлимфа прекращался прирост продукции в респираторных путях IgM, IgG и IgA, что может быть объяснено санирующим действием препарата на воспалительный очаг. Известно, что наряду с иммуностимулирующим действием суперлимф обладает противомикробным действием, сравниваемым с действием классических антибиотиков. Это обусловлено, по-видимому, присутствием в препарате противомикробных пептидов протегринов. Являясь катионными пептидами, они нарушают целостность мембраны микробной клетки, угнетают процессы клеточного дыхания, синтеза белка, что в конечном счете приводит к ее гибели. Известно также опосредованное действие суперлимфа на рост микробов через активацию выхода лизосомальных ферментов лейкоцитов, в частности катепсина G [2].

Помимо местного эффекта суперлимф оказывал и системное действие. Так, в группе больных, получавших суперлимф, улучшились показатели клеточно-опосредованного адаптивного иммунного ответа, снизилась активность гуморального звена за счет уменьшения концентрации IgG, ЦИК в сыворотке крови. Системные эффекты суперлимфа являются, скорее всего, следствием его местного действия на респираторную систему. Иммуномодулирующая, антиоксидантная и антибактериальная активность суперлимфа, реализуясь при данном способе применения препарата на уровне слизистой бронхиального дерева, обеспечивают противоспалительный, дезинтоксикационный эффекты, сказывающиеся в конечном счете положительно на системном иммунном ответе. Обнаруженное в ходе лечения суперлимфом двукратное снижение сывороточного

уровня IgE является отражением факта снижения активности системного гуморального иммунного ответа и может иметь значение в снижении у больных бронхиальной обструкции, в определенной степени обусловленной IgE-зависимым механизмом аллергического повреждения тканей.

Выводы. 1. Использование метода топической цитокинотерапии в комплексном лечении больных ХОБЛ демонстрирует выраженный клинический эффект, заключающийся в улучшении показателей внешнего дыхания, ускорении достижения ремиссии.

2. Включение суперлимфа в комплексную терапию больных ХОБЛ обеспечивает повышение исходно сниженной фагоцитарной активности альвеолярных макрофагов.

3. Под влиянием суперлимфа улучшаются показатели клеточно-опосредованного адаптивного иммунного ответа, снижается исходно повышенная активность гуморального звена адаптивного иммунитета как на системном уровне, так и в дыхательных путях.

Литература

1. *Ковальчук Л.В., Ганковская Л.В.* Природная композиция цитокинов (суперлимф) в топической иммунокоррекции // Аллергия, астма и клиническая иммунология. 2000. № 7. С. 25.

2. *Ковальчук Л.В., Ганковская Л.В., Мороз А.Ф.* Иммуномодулятор с прямым противомикробным действием // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2003. № 4. С. 28.

3. Пат. 2286795 РФ, МПК A61K 38/19, A61P 11/00. Способ лечения хронического бронхита / *Сунгоркина Е.П., Сунгоркина Т.М., Карзакова Л.М. и др.*; патентообладатель Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. № 2005129005/14; заявл. 16.09.2005 г.; опубл. 10.11.2006 г. Бюл. № 31. 7 с.

4. Роль иммунологических и иммуногенетических факторов в развитии хронической обструктивной болезни легких / *Л.М. Карзакова, Н.Д. Ухтерова, Л.В. Борисова и др.* // Здравоохранение Чувашии. 2008. № 2. С. 45-51.

5. *Хаитов Р.М., Пинегин Б.В., Истамов Х.И.* Экологическая иммунология. М.: Изд-во ВНИРО, 1995. 219 с.

6. Хроническая обструктивная болезнь легких. Практическое руководство для врачей / под ред. А.Г. Чучалина. М.: ООО «Колор Ит Студио», 2004. 64 с.

7. *Curtis J.L., Freeman C.M., Hogg J.C.* The immunopathogenesis of chronic obstructive pulmonary disease: insights from recent research // Proc. Am. Thorac. Soc. 2007. Vol. 4, № 7. P. 512-521.

8. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the diagnosis, menagment, and prevention of Chronic Obstructive Lung disease. Vancouver, 2011.

9. The nature of small-airway obstruction in chronic obstructive pulmonary disease / *J.C. Hogg, F. Chu, S. Utokaparch et al.* // N. Engl. J. Med. 2004. Vol. 350. P. 2645-2653.

КАРЗАКОВА ЛУИЗА МИХАЙЛОВНА. См. с. 329.

АЛЕКСЕЕВА ЕВГЕНИЯ ПАВЛОВНА – врач лабораторной диагностики, Республиканская клиническая больница, Россия, Чебоксары.

ALEKSEEVA EVGENIA PAVLOVNA – doctor of laboratory diagnostics, Republican Clinical Hospital, Russia, Cheboksary.

КУЗНЕЦОВА ЛИДИЯ НИКОЛАЕВНА – ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KUZNETSOVA LIDIYA NIKOLAEVNA – assistant of Internal Medicine Propaedeutics Chair with radiology course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МУЧУКОВА ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА – аспирантка кафедры госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, аллерголог-иммунолог, Республиканская клиническая больница, Россия, Чебоксары.

MUCHUKOVA OLGA MIKHAYLOVNA – post-graduate student of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, allergist-immunologist, Republican Clinical Hospital, Russia, Cheboksary.

УХТЕРОВА НАДЕЖДА ДИМИТРИЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии № 2, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

UKHTEROVA NADEZHDA DIMITRIEVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Hospital Therapy Chair № 2, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.366-089.87
ББК Р457.445.52

Е.С. КАТАНОВ, А.А. ВАЗАНОВ, С.А. АНЮРОВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПЕЧЕНИ ПОСЛЕ ХОЛЕЦИСТЭКТОМИИ И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫХ ЖЕЛЧЕИСТЕЧЕНИЙ

Ключевые слова: *желчеистечение, холецистэктомия.*

Изучены влияние воспалительных изменений в желчном пузыре на динамику желчевыделительной функции в раннем послеоперационном периоде и ее роль в развитии желчеистечений после холецистэктомии.

E.S. KATANOV, A.A .VAZANOV, S.A. ANYUROV

SOME FEATURES OF BILIARY LIVER FUNCTION AFTER CHOLECYSTECTOMY AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF POSTOPERATIVE BILIARY LEAKS

Key words: *biliary leaks, cholecystectomy.*

Study investigates the influence of inflammatory changes in the gall bladder on the dynamics of biliary function in the early postoperative period and its role in the development biliary leaks after cholecystectomy.

В настоящее время частота операций по поводу желчнокаменной болезни (ЖКБ) уступает только аппендэктомии [6]. Одним из грозных осложнений после холецистэктомии (ХЭ) является желчеистечение (ЖИ) в брюшную полость. Частота его развития не имеет тенденции к уменьшению, и с широким внедрением лапароскопической холецистэктомии вероятность развития данного осложнения возросла в 2-4 раза. При этом частота ЖИ после экстренных холецистэктомий значительно выше (3,2%), чем после плановых операций (0,6%) [2]. Источниками ЖИ могут быть поврежденные мелкие желчные протоки, расположенные в ложе желчного пузыря, культя пузырного протока, травмированные внепеченочные желчные протоки [1, 4, 6, 9].

Цель исследования – изучить особенности желчевыделительной функции печени в ранние сроки после холецистэктомии, выполненной по поводу острого и хронического холецистита, определить влияние активности выделения желчи на развитие послеоперационных ЖИ и разработать методы профилактики этих осложнений.

Материалы и методы исследования. Материалом для изучения послеоперационных осложнений послужили результаты хирургического лечения 2893 больных желчнокаменной болезнью, оперированных в хирургическом отделении БУ «Городская клиническая больница № 1» с 2000 по 2011 г. Все пациенты разделены на две группы, имеющие различный по характеру течения воспалительный процесс в желчном пузыре (табл. 1). Первую группу составили пациенты, оперированные по поводу хронического калькулезного холецистита (ХХ), вторую – пациенты, оперированные по поводу острого холецистита (ОХ). У всех пациентов характер воспалительного процесса в желчном пузыре подтвержден результатами гистологического исследования. В первую группу включены также пациенты, поступившие по поводу острого холецистита, но оперированные в «отсроченном» (В.С. Савельев, 2006) порядке через 8-14 дней.

Таблица 1

Распределение оперированных больных с острым и хроническим холециститом по возрасту и полу

Виды холецистита	Возраст, лет									
	до 44		45-59		60-74		75-89		Всего	
	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж
Острый	34	125	88	504	89	245	44	194	255	1068
Хронический	45	413	106	588	72	260	3	83	226	1344
Итого	79	538	194	1092	161	505	47	277	481	2412

По поводу ХХ оперировано 1570 (54,27%) пациентов, ОХ – 1323 (45,73%) пациента. Мужчин было 481 (16,6%), женщин – 2412 (83,4%). Большая часть больных была в возрастном диапазоне 45-59 лет – 1286 (44,5%).

Анализ биохимических исследований крови до операции и на 1-, 3-, 4-, 5-е сутки после операции провёден 331 больному. Исследование велось на автоматическом биохимическом анализаторе Ilab 650. Билирубин определялся методом Йендрашика–Клеггорна–Грофа, который заключается в следующем. Связанный билирубин, реагируя с диазофенилсульфоновой кислотой, дает розово-фиолетовое окрашивание. О концентрации связанного билирубина судят по интенсивности окраски. Несвязанный билирубин переходит в растворимое состояние и также дает розово-фиолетовое окрашивание после добавления к сыворотке кофеинового реактива. По интенсивности окраски судят о концентрации общего билирубина. По разнице общего и связанного билирубина определяют концентрацию несвязанного билирубина. Нормальными значениями общего билирубина считали 1,7-20,5 мкмоль/л. АСТ (L-аспартат:2-оксоглутарат-аминотрансфераза) и АЛТ (L-аланин:2-оксоглутарат-аминотрансфераза) сыворотки крови определяли унифицированным динитрофенилгадразиновым методом Райтмана–Френкеля. Принцип метода основан на следующем. В результате переаминирования, происходящего под действием АСТ и АЛТ, образуются щавелево-уксусная и пировиноградная кислоты, которые с 2,4-динитрофенилгидразином в щелочной среде образуют окрашенные гидразоны пировиноградной и щавелево-уксусной кислот. Интенсивность окраски, определяемая на фотометре при длине волны 500-560 нм, прямо пропорциональна концентрации трансаминаз. Нормальными значениями АСТ считали 3,0-40,0 Е/л, АЛТ 3,0-38,0 Е/л. Щелочная фосфатаза катализирует в щелочной среде перенос фосфатной группы от 4-нитрофенилфосфата к 2-амино-2-метил-1-пропанолу, освобождая 4-нитрофенол, по скорости образования которого судили об активности фермента. Нормальными значениями считали 50,0-105,0 Е/л. ГГТП (гаммаглутамилтранспептидаза) катализирует перенос гамма-глутаминовой группы гамма-глутамил-3-карбокси-4-нитроанилин. Активность фермента определялась по скорости образования 3-карбокси-4-нитроанилина. Нормальными значениями считали 0,0-38,0 Е/л.

Проведен анализ динамической дебитометрии 101 больному (56 с ХХ и 45 с ОХ) с наружным дренированием холедоха. Показаниями для дренирования холедоха были холедохолитиаз у 70 больных, стриктура БДС у 23 больных, холангит у 8 больных (табл. 2).

Таблица 2

Показания к дренированию холедоха (*n* = 101)

Показания	ОХ	ХХ
Холедохолитиаз	34	36
Стриктура БДС	5	18
Холангит	6	2
Всего	45	56

Морфологические изменения печени и синтетическая активность печени гепатоцита изучена у 86 больных, оперированных по поводу ЖКБ (44 с ОХ и 42 с ХХ). Интраоперационная биопсия размером 1,0×0,5 см проводилась в V сегменте печени. Гемостаз достигался наложением «П»-образных узловых швов. Препараты фиксировали в жидкости Карнуа. Первую серию препаратов окрашивали гематоксилин-эозином. Оценивали объем ядер гепатоцитов в центре и на периферии анатомической дольки с помощью программы SPSS SigmaScan Pro 5. Вторую серию препаратов обрабатывали акридиновым оранжевым для люминесцентной микроскопии. При этом возникает красная и зеленая люминесценция различных клеточных структур. Зеленая люминесценция характерна для комплекса акридинового оранжевого с двухспиральными нуклеиновыми кислотами, а красная – для комплекса с односпиральными НК. По соотношению одно- и двухспиральных НК (критерий α) можно судить о синтетической активности клетки [3].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием параметрического и непараметрического методов. При условии нормального распределения достоверность различий между выборками оценивали с помощью параметрического *t*-критерия Стъюдента. Надежность критерия *t* обозначали символом *p*. Достоверными считались результаты с $p < 0,05$. В других случаях использовали непараметрический критерий Манна–Уитни. Различия между выборками принимались как достоверные при $p < 0,05$. Статистический анализ работы выполнен на персональном компьютере с использованием статистических программ в среде Microsoft Excel 7,0.

Результаты исследования и их обсуждение. Всего возникло 46 желчеистечений (1,59%). После плановых операций ЖИ возникло у 14 (0,48%). После экстренных операций ЖИ возникло у 32 (1,1%), из них у 18 больных с перивезикальным инфильтратом. Источниками ЖИ у 11 (23,9%) больных были ложе желчного пузыря, у 17 (36,95%) – культя пузырного протока, у 2 (4,3%) – поврежденный холедох. При ЖИ объемом до 100 мл с тенденцией к уменьшению больные не оперировались в 16 (34,78%) случаях. Диагностика ЖИ при наличии улавливающего дренажа не представляло затруднений. Но в 5 случаях (все пациенты после плановой операции) ЖИ возникло на 4-7-е сутки, когда дренажи были удалены. Диагностика проводилась на основании тонкоигольных пункций жидкостных скоплений под контролем УЗИ. Источник ЖИ определялся после выполненной релапаротомии или релапароскопии у 7 больных. Для оценки ЖИ использовали классификацию L. Morgenstern (2006). ЖИ I степени (до 100 мл/сут.) было 21 (45,7%), II степени (100-500 мл/сут.) – у 18 (39,1%), III степени (более 500 мл/сут.) – у 7 (15,2%). Частой причиной обильного послеоперационного ЖИ была желчная гипертензия. Последняя была обусловлена холедохолитиазом у 8 больных, стриктурой дистального отдела холедоха – у 2 больных, клипированием или частичным прошиванием холедоха – у 2 больных, билиарным панкреатитом – у 5 больных. У остальных 29 (63%) механических препятствий оттока желчи не выявлено.

При проведении дебитометрии в послеоперационном периоде у больных с наружным дренированием холедоха мы выявили, что объем желчевыделения по дренажу из холедоха после операции по поводу ОХ остается практически постоянным, в то время как после холецистэктомии по поводу ХХ объем желчи в 1-е сутки после операции снижен, на 2-е сутки достоверно возрастает ($p < 0,05$) и сохраняет тенденцию к росту до 6-х суток после операции (табл. 3).

При ОХ до операции уровень ЩФ, ГГТП, АСТ и билирубина достоверно выше ($p < 0,05$). В послеоперационном периоде уровень фермента остается практически на одном уровне. При ХХ имелся рост уровня АСТ и АЛТ к 4-м суткам ($p < 0,01$), а затем снижается (табл. 4).

Анализ микроскопического исследования биопсийного материала показывает более высокую синтетическую активность гепатоцита при ОХ. Относительное преобладание объема ядер и критерия α в центре дольки при ОХ можно объяснить преобладанием синтетической активности клетки над дезинтоксикационной. Полученные данные представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 3

Дебит желчи по дренажу из холедоха в послеоперационном периоде

Сутки после операции	Объем суточной желчи, мл		*p*
	ХХ (*n* = 56)	ОХ (*n* = 45)	
1-е	165,9±32,2	407,5±83,3	0,05
2-е	250,0±34,3*	386,0±42,3	0,05
3-и	240,0±53,1	381,1±91,3	--
4-е	256,0±48,4	398,7±82,5	--
5-е	333,3±65,8	429,5±84,0	--
6-е	350,1±57,7	397,1±54,8	--
7-е	266,7±56,2	423,7±64,8	0,05

Примечание. -- – $p > 0,05$; * – $p < 0,05$ в сравнении с объемом желчи в 1-е сутки.

Таблица 4

Динамика данных биохимического анализа крови после операции при остром и хроническом холецистите

Показатель		До операции	Сутки после операции				
			1-е	2-е	3-и	4-е	5-е
Щелочная фосфотаза, Ед./л	ОХ	152±22,43	110,53±19,21	114,57±13,7	131,87±20,61	120,2±19,52	111,89±26,96
	ХХ	72,5±4,0	80,75±9,43	80,26±7,73	92,42±8,73	101,6±12,4*	75,12±9,37
	p	0,0001	--	0,01	0,05	0,05	--
Гаммаглутамилтранспептидаза, Ед./л	ОХ	86,38±19,5	113,6±14,3	84,46±11,9	92,42±8,73	99,96±6,9	78,11±13,1
	ХХ	32,62±5,25	42,15±6,73	44,92±3,82	48,90±9,32	89,85±12,7*	42,59±8,91
	p	0,01	0,01	0,05	0,01	0,05	--
АЛТ, Ед./л	ОХ	40,4±5,1	56,5±8,3	45,9±5,0	53,3±8,5	41,7±7,4	22,4±4,3
	ХХ	26,51±1,76	31,3±3,6	46,6±7,5	50,38±4,87	58,41±8,3*	34,59±5,3
	p	--	--	--	--	--	--
АСТ, Ед./л	ОХ	32,36±3,08	56,74±5,6	44,03±4,05	34,59±4,46	51,6±14,1	30,25±6,0
	ХХ	35,2±3,2	38,1±5,8	34,9±4,2	36,9±3,3	51,5±2,1*	34,7±7,2
	p	0,05	0,01	--	--	--	--
Билирубин, Мкмоль/л	ОХ	19,18±1,85	19,81±2,1	14,2±1,66	11,67±0,93	12,71±1,65	10,53±2,13
	ХХ	14,2±0,58	15,09±1,76	15,09±1,76	16,99±2,1	12,54±1,43	14,55±1,54
	p	0,01	--	--	0,01	--	--

Примечание. – $p > 0,05$; * – $p < 0,01$ в сравнении с уровнем до операции

Таблица 4

Объемы ядер гепатоцитов при остром и хроническом холецистите

Объем ядер, мкм^3	ХХ ($n = 42$)	ОХ ($n = 44$)	*p*
В центре дольки	168,5±15,0	280,5±14,5	0,01
На периферии дольки	167,4±14,6	232,6±12,6	0,01

Таблица 5

Соотношение одно- и двухспиральных НК при остром и хроническом холецистите

Критерий α	ХХ ($n = 42$)	ОХ ($n = 42$)	*p*
В центре дольки	0,60±0,07	0,66±0,01	0,01
На периферии дольки	0,49±0,07	0,58±0,02	0,01

Таким образом, наиболее частой причиной желчеистечения в раннем послеоперационном периоде были так называемые малые повреждения желчных протоков: протоки ложа желчного пузыря и несостоятельность культи пузырного протока (95,7%). Поступление желчи из ложа желчного пузыря, а также из аберрантных желчных протоков связано с механическим повреждением поверхностно расположенных протоков, которые в отличие от кровеносных сосудов не могут сокращаться и тем самым способствовать быстрому закрытию места повреждения. Аналогичные ситуации возникают при краевом повреждении магистральных протоков, при котором объем ЖИ зависит от величины дефекта [6]. При этом частота ЖИ после экстренных холецистэктомий значительно выше, чем после плановых операций: после холецистэктомии по поводу острого холецистита – 1,1%, после плановой – 0,48%. Это связано с диссекцией по ткани печени в условиях инфильтрации тканей, затрудняющей идентификацию анатомических структур, включая аберрантные желчные протоки [5, 6, 9]. Важнейшая роль в патогенезе ЖИ после холецистэктомии принадлежит неустраненной желчной гипертензией вследствие стриктуры БДС, холедохолитиаза, острого панкреатита [4-6, 10]. Проведенное исследование свидетельствует, что механизм ЖИ может быть связан с функциональной гипертензией в желчевыводящей системе, которая обусловлена воспалительными изменениями и повышенной функцией печени. На этом фоне любое незначительное повреждение мелких желчных протоков в ложе желчного пузыря на печени при холецистэктомии может привести к выраженному послеоперационному желчеистечению в брюшную полость. Кроме этого мы выявили, что в первые сутки после плановой холецистэктомии желчевыделение снижено ($p < 0,05$). За это время поврежденные мелкие протоки по-

крываются фибрином и соседними органами. Желчеистечение может возникнуть через несколько суток вследствие нарастания давления в желчевыводящей системе, связанное с восстановлением синтеза желчи.

В группе больных с ОХ 26 больным, у которых имело место повреждение печени при холецистэктомии и (или) обнаружено подтекание желчи из ложа во время операции, мы проводили дренирование холедоха через культю пузырного протока. Таким образом мы снимали желчную гипертензию и решали проблему послеоперационного обследования желчевыводящей системы. Послеоперационного внутрибрюшного желчеистечения в этой группе больных не было. Через 6-9 дней выполняли чрездренажную холангиографию. Если патологии в холедохе не было, дренаж удаляли на 10-12-й день.

Выводы. Частота ЖИ после холецистэктомии составляла 1,69%: при ОХ – 2,54%, при ХХ – 0,76%. Источниками ЖИ, потребовавшими дополнительных оперативных вмешательств, в 60,1% случаях были ложе желчного пузыря и несостоятельность культи пузырного протока. Объем ЖИ зависит от величины давления в желчных протоках. Желчная гипертензия при остром холецистите в 63% случаях была обусловлена функциональными изменениями в желчевыводящей системе печени. Наружное дренирование по Холстеду–Пиковскому при повреждении ткани печени во время холецистэктомии позволяет снизить количество осложнений и провести дополнительное обследование желчевыводящей системы в послеоперационном периоде.

Литература

1. *Бебуришвили А.Г., Зюбина Е.Н., Акинчиц А.Н., Веденин Ю.И.*. Наружное желчеистечение при различных способах холецистэктомии // Анналы хирургической гепатологии. 2009. Т. 14, № 3.

2. *Веденин Ю.В.* Диагностика и лечение интраабдоминальных осложнений после операций на желчных путях: автореф. дис. … канд. мед. наук. Волгоград, 2009. 31 с.

3. *Карнаухов В.Н.* Люминесцентный спектральный анализ клетки. М.: Наука, 1978. 207 с.

4. *Красильников Д.М., Фаррахов А.З., Хйруллин И.И., Маврин М.И.* Ранние послеоперационные осложнения у больных с калькулезным холециститом и холедохолитиазом. Казань: Медицина, 2008. 176 с.

5. *Кузнецов Н.А., Соколов А.А., Бронтвейн А.Т., Артемкин Э.Н.* Диагностика и лечение ранних билиарных осложнений после холецистэктомии // Хирургия. 2011. № 3. С. 3-7.

6. *Соколов А.А., Кузнецов Н.А., Артемкин Э.Г.* Диагностика и лечение желчеистечений в ранние сроки после холецистэктомии // Сибирский медицинский журнал. 2009. № 6. С. 143-145.

7. *Степанов Ю.А.* Анализ осложнений лапароскопической холецистэктомии при остром холецистите // Кубанский научный медицинский вестник. 2010. № 3-4. С. 174-178.

8. *Nawaz H.* Endoscopic treatment for post-cholecystectomy bile leaks: update and recent advances // Annals Gastroenterology. 2011. № 3.

9. *Nordin A., Grönroos J.M., Makisalo H.* Treatment of biliary complications after laparoscopic cholecystectomy // Scand. J. Surg. 2011. Vol. 100, № 1. P. 42-48.

10. *Machado N.* Biliary complications post laparoscopic cholecystectomy: mechanism, preventive measures, and approach to management: a review // Diagnostic and Therapeutic Endoscopy. 2011. Vol. 2011.

КАТАНОВ ЕВГЕНИЙ СТЕПАНОВИЧ. См. с. 346.

ВАЗАНОВ АНДРЕЙ АТТИКОВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии, Чувашский государственный университет; заместитель главного врача по хирургии, Городская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары (andvaz@mail.ru).

VAZANOV ANDREY ATTIKOVICH – candidate of medical sciences, assistant professor of General Surgery Chair, Chuvash State University; deputy chief medical officer, City Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

АНЮРОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – врач-хирург хирургического отделения, Республиканская клиническая больница № 1, Россия, Чебоксары (anurov78@mail.ru).

ANYUROV SERGEY ANATOLYEVICH – surgeon of Surgery Department, Republican Clinical Hospital № 1, Russia, Cheboksary.

УДК 615.462:616.314-089.28-06
ББК 56.6

И.С. КОПЕЦКИЙ, В.В. ПРОКОПЬЕВ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРЕПАРАТОВ «ОСТИМ-100» И «ГАП 85-Д» ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ОРТОПЕДИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ, ОПИРАЮЩИМИСЯ НА ЗУБЫ С СОХРАНЕННОЙ ПУЛЬПОЙ

Ключевые слова: *гидроксиапатит, ОСТИМ-100, ГАП 85-Д, дентинные трубочки.*

Предложены результаты исследования двух препаратов на основе гидроксиапатита для обтурации дентинных трубочек. Одонтопрепарирование витальных зубов под несъемные ортопедические конструкции (штампованные, литые и цельнокерамические коронки, виниры и вкладки) также может вызвать негативные последствия (пульпит, периодонтит, гиперчувствительность твердых тканей и др.). Это обусловлено тем, что во время препарирования обнажаются дентинные канальцы. В результате возникают повышенная проницаемость твердых тканей и послеоперационная гиперчувствительность зубов, повышается вероятность патогенного воздействия на пульпу компонентов ротовой жидкости, микроорганизмов, лекарственных препаратов, материалов для фиксации протезов. Одним из материалов, способных стимулировать дентиногенез и обтурировать дентинные трубочки (ДТ), является гидроксиапатит. На сегодняшний день на российском рынке представлены следующие препараты на основе гидроксиапатита: ОСТИМ-100 (МГУ им. М.В. Ломоносова), ГАП 85-Д, ФтАП-50Д (фирма Полистом) и др. При этом недостаточно изучена их эффективность, что является определяющим при выборе того или иного препарата для обтурирования ДТ. Учитывая вышесказанное, восполнение информационного пробела в отношении гидроксиапатита на современном этапе развития отечественной ортопедической стоматологии следует признать актуальным.

I.S. KOPETSKIY, V.V. PROKOPYEV

COMPARISON OF «OSTIM-100» AND «GAP 85-D» FOR PREVENTION OF COMPLICATIONS CAUSED BY FUSED-TO-METAL CROWNS COVERING VITAL TEETH

Key words: *hydroxyapatite, OSTIM-100, dentin tubules, gap 85-d.*

Prosthetic achievements led to increasing fused-to-metal crowns, veeners and onlay usage, when they cover vital teeth. Formerly, every tooth, covered with a fused-to-metal crown, was exposed to extracting of the pulp, because of high risks of complications, like hypersensitivity, inflammation of the pulp and others. The cornerstone of that is dentin tubules, that become opened by preparation of teeth for the crowns. Usage of hydroxyapatite helps to obturate dentin tubules, thus preventing the complications. There are several materials based on hydroxyapatite. But they are weakly investigated.

В данном исследовании будут рассмотрены препараты на основе гидроксиапатита. «Остим-100» синтезирован в лаборатории радиохимических методов исследования гетерогенных процессов МГУ им. М.В. Ломоносова. Препарат представлен нанодисперсным гидроксиапатитом со средним размером по длине (L), ширине (d) и толщине (h) – $L \times d \times h$ = 0,06 мкм × 0,015 мкм × 0,005 мкм и удельной поверхностью около 150 м^2/г. ГАП 85-Д представлен мелкокристаллическим порошком белого цвета. Химическая формула Ca10(PO4)6(OH)2. Является основой неорганического матрикса костных тканей. Характеризуется биосовместимостью с тканями человека и не вызывает реакции отторжения, стимулируя остеогенез.

Для изучения эффективности применения «Остим-100» и «ГАП 85-Д» в качестве средств для обтурирования дентинных трубочек и профилактики необратимых изменений в пульпе были проведены эксперименты на 6 кроликах (по 3 кролика в каждой группе) с хорошо развитой зубочелюстной системой. Каждому кролику препарировали по 4 резца на верхней и нижней челюстях в соответствии с принципами препарирования зубов человека.

Данный этап включал в себя следующие манипуляции:

1. Снятие двухслойного силиконового оттиска с верхней и нижней челюстей массой Silagum (DMG, Германия).

2. Препарирование зубов алмазными борами с помощью повышающей обороты механической бормашины с использованием водяного охлаждения.

3. Изготовление провизорных коронок на зубах с помощью быстротвердеющей пластмассы Luxatemp (DMG, Германия).

Препарат на основе гидроксиапатита применяется по следующей схеме. После препарирования зубов проводятся их кондиционирование 20%-ным раствором этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) с целью удаления аморфного слоя, образующегося после препарирования (по методу Гаражи С.Н.), в течение одной минуты и последующее смывание раствора водой. «Остим-100» и «ГАП 85-Д» в виде пасты наносятся на обработанные культи зубов при помощи резиновых чашечек на оборотах 400-600 об./мин, затем временные коронки фиксируются на TempBond NE (Kerr, США).

Материал для исследования получали на 1-, 2- и 3-й неделе после установки коронок.

Структуру дентинных трубочек и процесс обтурации изучали на срезах зубов кроликов с помощью методики сканирующей электронной микроскопии. Анализ электронограмм показал, что рельеф поверхности дентина после препарирования образован многочисленными возвышениями и бороздками, возникающими под воздействием бора. Поверхность дентина покрыта аморфным слоем, который имеет мелкозернистую структуру с отдельными более крупными частицами. После препарирования зубов экспериментальных животных в дентине нет выраженных структурных компенсаторно-приспособительных изменений, а поверхность препарирования является малорезистентной к воздействию внешних факторов. Через три недели с момента фиксации временных коронок в образцах, обработанных препаратом «ОСТИМ-100 », определяется плотный слой гидроксиапатита мелкозернистой структуры. Рельеф поверхности этого слоя в значительной мере сглажен. Наблюдается проникновение гранул гидроксиапатита в просвет дентинных трубочек на глубину до 60 мкм. В образцах, обработанных препаратом «ГАП 85-Д», слой гидроксиапатита расположен неравномерно, гранулы гидроксиапатита обтурируют дентинные трубочки на незначительную глубину. Результаты свидетельствуют, что препарат «Остим-100» обладает более выраженными обтурирующими свойствами. Возможно, глубина проникновения гидроксиапатита в дентинные канальцы зависела от размера частиц. Клинически глубина проникновения будет влиять на снижение чувствительности твердых тканей зуба на разные виды раздражители, а также будет служить барьером для проникновения микроорганизмов в полость зуба, ограничит воздействие кислот и токсических веществ на пульпу зуба при фиксации ортопедических конструкций.

Литература

1. *Гаража И.С.* Терапия гиперестезии при патологической стираемости зубов // Труды V съезда Стоматологической ассоциации России / М-во здравоохр. РФ; Стомат. ассоциация России. М., 1999. С. 95-97.

2. *Иванова Е.В., Чечина Г.Н.* Сравнительная оценка биологических свойств гидроксиапатита ультравысокой дисперсности ОСТИМ-100 // Клиническая стоматология. 2000. № 2. С. 36-37.

3. *Копейкин В.Н.* Ортопедическая стоматология. М.: Медицина, 1988. С. 23-68.

4. *Крамар С.В., Лебеденко И.Ю., Воложин А.И.* Эффективность обтурирования дентинных трубочек витальных и девитальных зубов с помощью синтетического гидроксиапатита и фторгидроксиапатита в эксперименте // Российский стоматологический журнал. 2005. № 6. С. 8-10.

5. *Муртазалиев Г.Г.* Изменения в пульпе зуба при препарировании искусственных полостей (электронно-микроскопическое исследование) // Стоматология. 1978. № 4. С. 5-11.

6. *Наумович С.А., Гунько И.И., Горбачев А.Н.* Клинические особенности протезирования металлокерамическими конструкциями: метод. рекомендации. Минск: МГМИ, 1999. С. 3-27 .

7. *Панкратов А.С, Копецкий И.С.* Результаты клинических испытаний лекарственной композиции гидроксиапатита ультравысокой дисперсности с метронидазолом // Стоматология на пороге третьего тысячелетия: сб. работ. М.: Мораг-Экспо, 2001. С. 433-435.

8. *Постолаки И.И.* Ультраструктурные изменения коронкового дентина зубов, покрытых металлическими коронками // Стоматология. 1980. № 4. С. 44-45.

9. Руководство по ортопедической стоматологии / *В.Н. Копейкин, М.Г. Бушан, А.И. Воронов и др*. М.: Медицина, 1993. С. 16-58.

10.Штифтовые конструкции: метод. рекомендации / *С.А. Наумович, Ю.И. Коцюра, И.И. Гунько и др*. Минск: МГМИ, 1998. С. 3-17.

КОПЕЦКИЙ ИГОРЬ СЕРГЕЕВИЧ – кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Россия Москва (kopetski@rsmu.ru).

KOPETSKIY IGOR SERGEEVICH – candidate of medical sciences, head of Preventive Dentistry Chair, Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Russia, Moscow.

ПРОКОПЬЕВ ВИКТОР ВАЛЕРЬЕВИЧ – ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Россия, Москва (victorstom@gmail.com).

PROKOPYEV VICTOR VALERYEVICH – assistant of Preventive Dentistry Chair, Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Russia, Moscow.

УДК 611.84.018
ББК 56.7

Н.В. КОРСАКОВА, Е.М. ЛУЗИКОВА, А.В. НИКИФОРОВА,
С.Ю. ЕФИМОВА, К.А. ФРОЛОВА, С.Б. ИВАНОВ, С.Г. АНИЧКИНА

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА РАЗВИТИЯ ВИДА ВТОРИЧНОЙ КАТАРАКТЫ*

Ключевые слова: *вторичная катаракта, возрастная катаракта, капсула хрусталика, эпителий хрусталика.*

На основе анализа данных общеклинической диагностики, характеризующих процессы возрастной инволюции и функциональное состояние вегетативной нервной системы, определяют тип дермографизма, тип гемодинамики и вегетативный индекс Кердо пациента старше 50 лет и прогнозируют высокий риск развития пролиферативного вида вторичной катаракты у пациентов с проявлением белого дермографизма, гиперкинетического типа гемодинамики и имеющих значения вегетативного индекса Кердо равным и более 2,79, а у пациентов с проявлением красного дермографизма, гипокинетического типа гемодинамики и имеющих значения вегетативного индекса Кердо равным и менее 23,52 прогнозируют высокий риск развития фиброзного вида вторичной катаракты. Способ основан на выявленных принципиальных отличиях в нейротрофическом контроле процессов формирования пролиферативного и фиброзного видов вторичной катаракты. Впервые обнаружено, что для пациентов с пролиферативным видом вторичной катаракты характерно преобладание симпатических эффектов вегетативной нервной системы; у пациентов с фиброзным видом вторичной катаракты выявлено преобладание парасимпатических эффектов. Выявленные отличия в патогенезе разных видов вторичной катаракты свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к ее профилактике и лечению.

**N.V. KORSAKOVA, E.M. LUZIKOVA, A.V. NIKIFOROVA,
S.Yu. EFIMOVA, K.A. FROLOVA, S.B. IVANOV, S.G. ANICHKINA**

THE METHOD OF PREDICTION OF RISK OF DEVELOPMENT OF THE SECONDARY CATARACT' TYPE

Key words: *age cataract, secondary cataract, lens capsule, epithelium of lens.*

On the basis of data analysis of the all-clinical diagnostics, characterizing processes of age involution and the functional status of vegetative nervous system, define dermografizm type, the type of haemo dynamics and Kerdo's vegetative index of the patient is higher than 50 years and predict high risk of development of a proliferative type of a secondary cataract at patients with manifestation of a white dermografizm, hyperkinetic type of haemo dynamics and having values of a vegetative index of Kerdo equal and more than 2,79, and at patients with manifestation of a red dermografizm, hypokinetic type there are haemo speakers and having values of a vegetative index of Kerdo equal and less than 23,52 predict high risk of development of a fibrous type of a

* Исследование выполнено при финасовой поддержке Министерства образовании и науки РФ по соглашению № 14.B37.21.0221 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

secondary cataract. The method is based on the revealed fundamental differences in neurotrophic monitoring of processes of formation of proliferative and fibrous types of a secondary cataract. Thus, the domination a sympathetic nervous system in patients with proliferous secondary cataract have been found for the first time. Moreover, patients with fibrotic secondary cataract had the domination of parasympathetic nervous system and another character of dystrophic changes. This investigation has discovered principle differences in neuro-trophycal control in forming of different types of secondary cataract. It demonstrates necessity of forming different view to study of preventive and treatment of human secondary cataract depending on its type.

Непрерывно совершенствующаяся техника хирургического лечения катаракты, к сожалению, до настоящего времени не лишена ряда послеоперационных осложнений, сопровождающихся повторным, значительным снижением зрения (вторичная катаракта, кистозная дистрофия сетчатки и др.) [3]. Вторичная катаракта является наиболее частым послеоперационным осложнением и развивается даже после успешно выполненной операции. Выделяют следующие виды вторичной катаракты: 1-й – фиброз задней капсулы хрусталика; 2-й – вторичная катаракта с образованием клеток-шаров Адамюка–Эльшнига; 3-й – утолщение капсулы хрусталика [3, 4, 8, 11]. Частота возникновения вторичной катаракты колеблется от 3 до 87% [5]. Существует даже мнение, что если подходы к диагностике, профилактике и лечению вторичной катаракты не улучшатся, то она станет второй по значимости причиной слепоты после возрастной катаракты в мире.

Причина этих осложнений хирургически неустранима, так как сложившийся возрастной нейродистрофический процесс (возрастная катаракта) [1, 2, 10] побуждает клетки хрусталика к патологической регенерации, одним из проявлений которой является изменение фенотипа этих клеток. Доказано, что фенотип клеток хрусталика при различных видах катаракты подвержен значительным изменениям [9, 10]. При этом установлено, что важнейшим фактором изменения тканевой дифференцировки живых организмов является влияние трофической нервной системы [1, 2, 7]. Именно системный подход к изучению вегетативного статуса пожилых пациентов, страдающих помутнением хрусталика, позволит раскрыть существенные патогенетические механизмы возрастной катаракты и разработать эффективные меры ее профилактики.

Цель исследования – изучить и провести сравнительный анализ влияний симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы пациента при формировании пролиферативного и фиброзного вида вторичной катаракты.

Материалы и методы исследования. Всего в ходе динамического наблюдения за течением послеоперационного периода у пациентов с корковым и ядерным видами возрастной катаракты с применением методов стандартной офтальмологической диагностики, общеклинической диагностики и ретроспективного анализа данных амбулаторных карт исследовано 198 пациентов мужского и женского пола в возрасте от 60 до 84 лет (средний возраст 72±12 года), поступивших в Республиканскую клиническую офтальмологическую больницу (г. Чебоксары) на повторное хирургическое лечение возрастной катаракты парного глаза. При исследовании пациентов применены: метод биомикроскопии переднего отрезка глаза при помощи щелевой лампы с целью идентификации вида вторичной катаракты ранее прооперированного глаза и вида возрастной катаракты парного глаза; проба с реактивной гиперемией на коже предплечья с целью определения степени влияния симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы; измерение уровня артериального давления и определение частоты сердечных сокращений с расчетом вегетативного индекса Кердо по формуле: индекс Кердо = $(1 - D/p) \times 100$, где D – уровень диастолического давления, p – частота сердечных сокращений. Полученные цифровые данные обработаны статистически с использованием пакета программ Microsoft Office

(Word и Excel). В работе приводятся следующие показатели: *M* – средняя арифметическая величина*; m* – средняя ошибка средней арифметической величины. Статистическая достоверность результатов определена критерием Стьюдента [6].

Критерии включения в исследование: пациенты мужского и женского пола старше 60 лет; диагноз возрастной катаракты коркового или ядерного вида на одном глазу; формирование вторичной катаракты на парном глазу в послеоперационном периоде у пациента, перенесшего успешно выполненную операцию по поводу возрастной катаракты; стойкая ремиссия сопутствующих хронических заболеваний внутренних органов; сопутствующие заболевания глаз, клиническое течение и методы лечения которых не способны вызвать помутнение хрусталика.

Критерии исключения из исследования: стадия обострения сопутствующих хронических заболеваний внутренних органов, их тяжелое некомпенсированное течение, активное медикаментозное лечение; сопутствующие заболевания глаз, клиническое течение и методы лечения которых способны самостоятельно инициировать формирование помутнения хрусталика; одновременное помутнение коры и ядра хрусталика; тяжелая интоксикация в анамнезе; профессиональная деятельность, связанная с работой в условиях действия вредных физических, химических и биологических факторов.

В ходе проводимой офтальмологической диагностики на основании данных биомикроскопии переднего отрезка глаза сформированы две клинические группы пациентов в зависимости от вида вторичного помутнения хрусталика: первая группа – пациенты с пролиферативным видом вторичной катаракты (78 человек); вторая группа – пациенты с фиброзным видом вторичной катаракты (120 человек).

Результаты исследования и их обсуждение. У 64 обследованных пациентов с формирующимся пролиферативным видом вторичной катаракты при помощи пробы с реактивной гиперемией на коже предплечья чаще обнаруживается проявление белого дермографизма (82,1%). При этом у 13 пациентов (16,7%) выявлен смешанный дермографизм и лишь у одного (1,3%) – красный (таблица).

Функциональное состояние вегетативной нервной системы пациентов с разными видами возрастной и вторичной катаракты

Показатель	Вид возрастной катаракты	
	корковая (*n* = 78)	**ядерная (*n* = 120)**
Проба с реактивной гиперемией на коже предплечья (дермографизм)	белый – 64 пациента (83,2%) смешанный – 13 пациентов (16,9%) красный – 1 пациента (1,3%)	красный – 112 пациентов (93%) смешанный – 8 пациентов (6,6%)
Артериальное диастолическое давление	78,22±1,05 мм рт.ст.	88,33±0,85 мм рт. ст.
Частота сердечных сокращений (пульс)	80,63±1,15 уд./мин	71,86±0,7 уд./мин
Тип гемодинамики	гиперкинетический тип – 65 пациентов (84,5%) гипокинетический тип – 13 пациентов (16,9%)	гипокинетический тип – 120 пациентов (100%)
Вегетативный индекс Кердо	2,79±1,4	–23,52±1,28
Пролиферативный вид вторичной катаракты	17 пациентов (22,1%)	не выявлено
Фиброзный вид вторичной катаракты	1 пациент (1,3%)	14 пациентов (11,6%)

При постановке пробы с реактивной гиперемией на коже предплечья в группе пациентов с развивающимся фиброзным видом вторичной катаракты у 112 обследованных лиц (93,3%) выявлен красный дермографизм. Случаев проявления белого дермографизма не выявлено. Смешанный дермографизм обнаружен у 8 пациентов (6,7%).

Измерение уровня артериального давления и частоты сердечных сокращений с последующим расчетом вегетативного индекса Кердо выявило отличия в степени выраженности влияний на организм симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. У пациентов с корковым видом возрастной и пролиферативным видом вторичной катаракты частота сердечных сокращений в среднем равна 80,63±1,15 уд./мин ($P < 0,05$), уровень диастолического давления в среднем равен 78,22±1,05 мм рт. ст. ($P < 0,05$), следовательно, в данной группе пациентов наиболее распространен гиперкинетический тип гемодинамики. Вегетативный индекс Кердо в среднем равен 2,79±1,4 ($P < 0,05$), у всех обследованных лиц имеет положительные значения, что свидетельствует о преобладании симпатических эффектов вегетативной нервной системы.

У пациентов с ядерным видом возрастной и фиброзным видом вторичной катаракты частота сердечных сокращений в среднем равна 71,86±0,7 уд./мин ($P < 0,05$), уровень диастолического давления в среднем равен 88,33±0,85 мм рт.ст. ($P < 0,05$), следовательно, для пациентов данной группы характерен гипокинетический тип гемодинамики. Вегетативный индекс Кердо в среднем равен 23,52±1,28 ($P < 0,05$), при этом у всех обследованных пациентов он имеет отрицательные значения, что свидетельствует о преобладании вегетативных парасимпатических эффектов.

Полученные результаты позволили разработать доступный нетрудоемкий способ прогнозирования риска развития вторичной катаракты определенного вида, способствующий оптимизации и снижению затрат государственного финансирования на лечебные мероприятия (заявка на изобретение РФ № 2012155291, приоритет от 19.12.2012 г.). Предложенный способ позволяет врачу любой специальности по виду дермографизма, типу гемодинамики и вегетативному индексу Кердо, а следовательно, функциональному состоянию вегетативной нервной системы пациента старше 50 лет с вероятностью более 84% прогнозировать формирование у данного пациента пролиферативного или фиброзного вида вторичной катаракты и проводить направленную специфическую профилактику.

Сравнительный анализ показывает, что у пациентов первой группы уже в возрасте 50 лет преобладает проявление белого дермографизма, гиперкинетического типа гемодинамики, значения вегетативного индекса Кердо в среднем равны 2,79±1,4 ($P < 0,05$), в течение года после хирургического лечения коркового вида возрастной катаракты более чем в 22 раза чаще (17 пациентов) формируется пролиферативный вид вторичной катаракты. Во второй группе пациентов уже в возрасте 50 лет преобладает проявление красного дермографизма, гипокинетического типа гемодинамики, значения вегетативного индекса Кердо в среднем равны 23,52±1,28 ($P < 0,05$), в течение года после хирургического лечения ядерного вида возрастной катаракты более чем в 10 раз чаще (14 пациентов) выявлено развитие фиброзного вида вторичной катаракты.

Полученные сведения, подтверждая важность трофических влияний нервной системы, могут служить доказательством закономерных проявлений возрастной инволюции различных отделов вегетативной нервной системы [1, 2, 7] и указывают на преобладание у пациентов с пролиферативным видом вторичной катаракты эффектов симпатического отдела вегетативной нервной системы; у пациентов с формирующимся фиброзным видом вторичной катаракты – парасимпатических влияний. Следовательно, функциональное состояние вегетативной нервной системы пожилого пациента может служить в качестве доклинического маркера риска формирования в послеоперационном периоде пролиферативного или фиброзного вида вторичной катаракты. Выявленная закономерность между видом формирующейся в послеоперационном периоде вто-

ричной катаракты и особенностями вагосимпатического баланса пациента позволяет рассматривать вторичную катаракту в качестве локального проявления возрастного нейродистрофического процесса, что служит очередным доказательством важности трофической функции нервной системы в фундаментальном процессе поддержания стабильности тканевой дифференцировки и тканевого метаболизма.

Возможность прогнозировать формирование конкретного вида возрастной катаракты до момента ее возникновения подтверждается следующими клиническими примерами.

Пример 1. Больная Е., 70 лет. Диагноз: возрастная ядерная катаракта правого глаза, артифакия левого глаза. Перенесла экстракапсулярную экстракцию возрастной ядерной катаракты левого глаза 11 месяцев назад. При биомикроскопии: выраженный фиброз задней капсулы хрусталика левого глаза. Острота зрения правого глаза $0,2 - 2,0^{Д} = 0,3$, острота зрения левого равна 0,3 (нет коррекции). При проведении общеклинической диагностики выявлены: красный дермографизм, гипокинетический тип гемодинамики (АД = 160/92 мм рт.ст.; пульс = 59 уд./мин), вегетативный индекс Кердо = –56. При анализе данных амбулаторной карты методами общеклинической диагностики с возраста 49 лет у пациентки обнаружено преобладание парасимпатических эффектов вегетативной нервной системы над симпатическими.

Пример 2. Больная И., 71 год. Диагноз: артифакия правого глаза, возрастная корковая катаракта левого глаза. При биомикроскопии: правый глаз – на поверхности задней капсулы хрусталика и интраокулярной линзы отчетливо визуализируются множественные клетки-шары Адамюка–Эльшнига. Острота зрения правого глаза равна 0,3 (нет коррекции); острота зрения левого глаза $0,4 + 0,75^{Д} = 0,5$. При проведении общеклинической диагностики выявлены: белый дермографизм, гиперкинетический тип гемодинамики (АД = 132/80 мм рт. ст.; пульс = 86 уд./мин), вегетативный индекс Кердо = 7. Анализ данных амбулаторной карты показал, что с возраста 49 лет методами общеклинической диагностики фиксировалось устойчивое преобладание эффектов симпатического отдела вегетативной нервной системы над парасимпатическими.

Таким образом, впервые обнаружено, что формирование пролиферативного вида вторичной катаракты происходит на фоне преобладающих симпатических эффектов вегетативной нервной системы пациента; фиброзный вид вторичной катаракты человека формируется в условиях преобладающих парасимпатических влияний.

Литература

1. *Ажипа Я.И.* Трофическая функция нервной системы. М.: Наука, 1990. 672 с.
2. *Волкова О.В.* Нейродистрофический процесс. М.: Медицина, 1978. 256 с.
3. Глазные болезни / под ред. В.Г. Копаевой. М.: Медицина, 2012. 560 с.
4. *Либман Е.С., Калеева Э.В.* Состояние и динамика инвалидности вследствие нарушения зрения в России // IX Съезд офтальмологов России: тез. докл. М.: Офтальмология, 2010. С. 73.
5. *Мальцев Э.В., Павлюченко К.П.* Биологические особенности и заболевания хрусталика. Одесса: Астропринт, 2002. 448 с.
6. Основы доказательной медицины / под ред. Т. Гринхальх. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2009. 288 с.
7. *Швалев В.Н.* Некоторые морфологические основы учения о трофической функции нервной системы // Арх. анат., гистол., эмбриол. 1971. № 8. С. 8-29.
8. Эпидемиологическое исследование распространенности и структуры причин слепоты и нарушения зрения / *Х.П. Тахчиди, С.Л. Бранчевский, О.Б. Чертухина и др.* // IX Съезд офтальмологов России: тез. докл. М.: Офтальмология, 2010. С. 76.
9. A study of human lens epithelial cells by light and electron microscopy and by immunohistochemistry in different types of cataracts / *A. Synder, A. Omulecka, M. Ratynska et al.* // Klin. Oczna. 2002. Vol. 104, № 5-6. P. 369-373.
10. *Korsakova N.V.* Modern Data about Age-Related Cataract Pathogenesis in Humans. N.Y.: Nova Science Publishers, 2012. 82 p.
11. *Sveinsson O.* The ultrastructure of Elschnig's pearls in a pseudophakic eye // Acta Ophthalmol. 1993. Vol. 71, № 1. P. 95-98.

КОРСАКОВА НАДЕЖДА ВИТАЛЬЕВНА – доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии и отоларингологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (korsnv@rambler.ru).

KORSAKOVA NADEZHDA VITALYEVNA – doctor of medical sciences, professor of Ophthalmology and Otolaryngology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЛУЗИКОВА ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА – кандидат биологических наук, доцент кафедры цитологии, эмбриологии и гистологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (nema76@mail.ru).

LUZIKOVA ELENA MIKHAYLOVNA – candidat of biological sciences, assistant professor of Cytology, Histology and Embryology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

НИКИФОРОВА АННА ВАЛЕРЬЕВНА – студентка V курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (anneta54@mail.ru).

NIKIFOROVA ANNA VALERYEVNA – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ЕФИМОВА СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА – студентка V курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (svetlanaefimova@mail.ru).

EFIMOVA SVETLANA YURYEVNA – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ФРОЛОВА КСЕНИЯ АЛЕКСЕЕВНА – студентка V курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ksufik15@mail.ru).

FROLOVA KSENIA ALEKSEEVNA – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ИВАНОВ СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ – врач-офтальмохирург высшей квалификационной категории, Республиканская клиническая офтальмологическая больница, Россия, Чебоксары.

IVANOV SERGEY BORISOVICH – ophthalmologist, Republican Clinical Ophthalmologic Hospital, Russia, Cheboksary.

АНИЧКИНА СВЕТЛАНА ГЕННАДЬЕВНА – врач-офтальмохирург высшей квалификационной категории, Республиканская клиническая офтальмологическая больница, Россия, Чебоксары.

ANICHKINA SVETLANA GENNADYEVNA – ophthalmologist, Republican Clinical Ophthalmologic Hospital, Russia, Cheboksary.

УДК 613.221
ББК 57.3

М.В. КРАСНОВ, М.Г. БОРОВКОВА, Л.А. НИКОЛАЕВА

СОСТОЯНИЕ ВСКАРМЛИВАНИЯ ДЕТЕЙ ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Ключевые слова: *грудные дети, питание, организация прикорма, грудное молоко, адаптированные смеси.*

Питание является актуальным вопросом педиатрии. Характер вскармливания в грудном возрасте определяет обменные процессы организма в будущем, оказывает влияние на здоровье ребёнка в целом. В статье изложены результаты исследования распространённости различных видов вскармливания детей первого года жизни, организации прикорма, режима питания.

M.V. KRASNOV, M.G. BOROVKOVA, L.A. NIKOLAEVA

THE STATE OF FEEDING INFANTS IN MODERN CONDITIONS

Key words: *infants, nutrition, weaning organization, breast milk, adapted formulas.*

Nutrition is an important issue of Pediatrics. The nature of feeding in infancy determines the metabolic processes in the future, has an impact on a child's health in general. The paper presents the results of a study of prevalence of different types of feeding infants, the weaning organization, diet.

Рациональное питание детей играет ключевую роль в обеспечении их гармоничного роста, физического и нервно-психического развития, устойчивости к воздействию инфекций и других неблагоприятных факторов внешней среды [4, 6, 10, 12]. Научные исследования показали, что питание на первом году жизни оказывает жизненно важное влияние на метаболизм. Те или иные нарушения питания могут увеличить риск таких патологических состояний, как аллерги-

ческие болезни, ожирение, метаболический синдром, остеопороз и некоторые другие [2, 6, 14]. В связи с высокой актуальностью вопросов питания на первом году жизни группой российских экспертов и специалистов в области питания детей была составлена, а на XVI Съезде педиатров (в феврале 2009 г.) утверждена Национальная программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации. В последующие годы положения программы активно внедрялись в практическое здравоохранение, докладывались и разъяснялись на конференциях различного уровня, публиковались в журналах.

Цель исследования – изучить состояние вскармливания детей первого года жизни в Чувашской Республике в соответствии с рекомендациями Национальной программы оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования было проведено анкетирование 100 женщин, имевших детей в возрасте от 1 до 2 лет. Основные вопросы анкеты, составленной авторами, касались первого прикладывания ребёнка к груди, продолжительности естественного вскармливания, перехода на смешанное и искусственное вскармливание, введения прикорма. Для статистической обработки данных исследования использован параметрический метод с определением доверительных границ средних величин и относительных показателей генеральной совокупности, а также достоверности различия с использованием *t*-критерия. Заданная степень вероятности безошибочного прогноза $P = 95\%$, при этом $t = 2$.

Результаты исследования и их обсуждение. Оптимальным продуктом питания для ребенка первых месяцев жизни является материнское молоко, соответствующее особенностям и функциональным возможностям его системы пищеварения и обмена веществ, обеспечивающее адекватное развитие детского организма [3, 8, 14]. Все нутриенты женского молока легко усваиваются, молоко является источником гормонов и различных факторов роста, которые играют важнейшую роль в регуляции метаболизма, роста и дифференцировки тканей и органов ребенка.

За счет присутствия клеточных и неклеточных факторов защиты, бифидо- и лактобактерий грудное молоко способствует повышению защитных функций детского организма [10]. Дети, находящиеся на естественном вскармливании, значительно реже болеют инфекционными заболеваниями. Общение матери и ребенка в процессе кормления грудью оказывает глубокое взаимное психологическое воздействие. Дети, которые вскармливались материнским молоком, имеют более высокий коэффициент интеллектуального развития, отличаются большим спокойствием, уравновешенностью, приветливостью и доброжелательностью по сравнению с детьми, находившимися на искусственном вскармливании, а впоследствии сами становятся внимательными и заботливыми родителями [6, 11, 13].

Как известно, определяющими факторами, влияющими на продолжительность лактации, являются собственная мотивация, настрой женщины на грудное вскармливание своего малыша [3]. По нашим данным, 31±9,2% женщин настроены кормить ребёнка грудным молоком до 1 года, 60±9,8% – более года, и всего лишь 6±4,7% матерей считают достаточной продолжительность грудного вскармливания 6-10 мес.

В соответствии с существующими рекомендациями здоровый новорожденный ребенок должен выкладываться на грудь матери в первые 30 мин после родов на срок не менее чем на 30 мин [6, 10]. Это способствует становлению достаточной по объему и продолжительности лактации, обеспечивает получение новорожденным материнской микрофлоры, способствует лучшей адаптации новорождённого к внеутробной жизни, усилению чувства материнства, уменьшает

опасность кровопотери у матери [6, 10]. Проведённое исследование показало, что в первые 30 мин прикладываются к груди 48±10% детей, 43±9,9% – в более поздние сроки, а 9±5,7% – не прикладываются по разным причинам. При этом 20±8,4% детей находятся у груди матери от 1 до 30 с, 76±9% – от 1 до 15 мин, только 4±4% – от 30 до 60 мин. Кормление искусственной смесью до первого прикладывания к груди используется в питании 29±9,5% новорождённых.

Очень важно сохранить исключительно грудное вскармливание до 4-6 мес. Данный возраст является оптимальным для введения прикорма [6, 9]. По нашим исследованиям, грудное вскармливание не получают 12±6,5% детей, продолжительность исключительно грудного вскармливания менее 4 мес. составляет у 27±8,9%, 4-6 мес. – у 56 ± 9,9%, 7-9 мес. – у 5±4,4% малышей.

Важным вопросом является допаивание детей. Практика показывает, что дети, находящиеся на исключительно грудном вскармливании, иногда нуждаются в жидкости. Это может быть связано с пониженной влажностью в квартире, повышенной температурой окружающей среды, обильной жирной пищей, съеденной матерью накануне, и пр. [6]. В этих случаях можно допаивать ребенка водой из ложки. Также допаивание необходимо больным детям, особенно при заболеваниях, сопровождающихся лихорадкой, диарей, рвотой, выраженной гипербилирубинемией [6]. В других случаях дети, находящиеся на исключительно грудном вскармливании, не нуждаются в допаивании. Наше исследование показало, что в действительности большинство детей (75±9,2%), находящихся на исключительно грудном вскармливании, получают воду в качестве питья.

Время нахождения ребёнка у груди во время кормления колеблется в широких пределах: в 24±9,1% случаев оно составляет 5-10, в 56±10,5% – 10-20, в 20±8,5% – 30-40 мин. Сцеживают излишки молока большинство (60±10,4%) кормящих матерей, хотя при этом такое же большинство (57±10,5%) женщин прикладывют ребёнка к обеим молочным железам в течение одного кормления.

В первые месяцы жизни рекомендуется вскармливание по аппетиту и требованию ребёнка. При свободном вскармливании объём лактации выше, чем при вскармливании по часам. Режим «свободного вскармливания» является одним из важнейших факторов обеспечения полноценной лактации и способствует установлению тесного психоэмоционального контакта между матерью и ребёнком [5].

Для поддержания лактации особенно важны и ночные кормления, так как ночью уровень пролактина более высокий [5, 6]. При изучении режима питания детей, находящихся на исключительно грудном вскармливании, в возрасте от рождения до 5 мес. оказалось, что среднее количество дневных кормлений составляет 6-7 раз, ночных кормлений – 3 раза, при этом в ночное время кормят своих детей грудью 98,7±1,7% матерей.

Перевод на смешанное или искусственное вскармливание должен быть строго обоснован, проводиться после консультации педиатра. Введение в рацион ребёнка смеси, особенно в первые месяцы жизни, является для него «метаболическим стрессом», ни одна искусственная смесь не может считаться полноценным заменителем женского молока. В связи с этим большое внимание врача и медсестры должно уделяться правильному выбору искусственной смеси для питания ребёнка первого года жизни [3]. Причины перевода ребёнка на смешанное и искусственное вскармливание различны, самой частой причиной является гипогалактия (73,5±12,6%), другие причины (неспособность ребёнка брать грудь, отъезд матери, избыток молока у матери, аллергические проявления у ребёнка, нежелание матери кормить ребёнка грудью, тяжёлое заболевание матери, приём антибиотиков матерью, травма молочной железы) составляют 26,5±12,6%.

Распространённость различных видов вскармливания у детей грудного возраста в Чувашской Республике и сравнение с обобщёнными данными 2008 г. по Российской Федерации [6] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распространённость различных видов вскармливания в грудном возрасте

Возраст детей, мес.	Распространённость естественного вскармливания,%	Распространённость искусственного вскармливания в ЧР, %	Распространённость искусственного вскармливания в РФ (2008 г.), %
0	88±6,5	11±6,3	2,5
1	84±7,3	15±7,1	11,6
2	75±8,7	22±8,3	18,5
3	71±9,1	25±8,7	28,2
4	69±9,2	27±8,9	32
5	65±9,5	29±9,1	37,6
6	59±9,8	34±9,5	46,1
7	58±9,9	34±9,5	
8	56±9,9	37±9,7	
9	54±10	37±9,7	
10	53±10	38±9,7	
11	52±10	39±9,8	
12	50±10	40±9,8	

Продолжительность естественного вскармливания составляет у 17±7,5% детей от 2 нед. до 3 мес., у 12±6,5% – 4-6, у 5 ± 4,4% – 7-9, у 54±10% – 10-12 мес., при этом 12±6,5% детей не получают грудного молока с рождения, а 48±10% продолжают получать его после года.

При признаках гипогалактии окончательный вывод о недостаточной лактации может быть сделан на основании результатов контрольного взвешивания, проводимого после каждого кормления в течение суток. Практика показала, что в большинстве случаев (92±8,9%) при появлении признаков гипогалактии контрольное взвешивание не проводится, что, видимо, отчасти можно объяснить самостоятельным переводом ребёнка на иной вид вскармливания также в большинстве случаев (63±13,8%). При этом понятны причины небольшого количества случаев (14±11,4%) проведения лечения гипогалактии.

В зависимости от количества женского молока и давности смешанного вскармливания докорм может назначаться после каждого кормления грудью или в виде отдельных самостоятельных кормлений. При впервые установленной гипогалактии вне зависимости от её степени ребёнка следует прикладывать к груди в каждое кормление, при гипогалактии, существующей более 1 мес., следует сохранить 3-4 кормления грудью с докормом для сохранения имеющейся лактации и самостоятельные кормления заменителем женского молока [7]. В нашем исследовании все матери использовали заменитель женского молока в виде отдельных самостоятельных кормлений, т.е. чередовали кормления грудным молоком и его заменителем. В качестве заменителя женского молока рекомендуется использовать только адаптированные смеси. Выбор смеси осуществляется родителями самостоятельно в 69±13,2% случаев, в абсолютном большинстве (98±4%) в питании детей используются адаптированные смеси. У 8±7,8% детей наблюдаются нежелательные реакции на адаптированные смеси в виде кожных проявлений пищевой аллергии и диспепсических симптомов.

Введение прикорма является важным периодом в жизни грудного ребёнка. Целью назначения прикорма является введение дополнительного количества макро- и микронутриентов, энергии, необходимых для роста и развития ребёнка. Специалисты считают, что оптимальным возрастом введения прикорма является 4-6 мес. Ранее этого срока ребёнок не готов к усвоению новой пищи, поздний прикорм (после 6 мес.) может вызвать заметный дефицит необходимых нутриентов и необходимость введения большого количе-

ства продуктов за короткий промежуток времени, что приводит к повышенной антигенной нагрузке, а также задержке формирования навыков жевания и глотания густой пищи [1, 6, 9]. В качестве первого прикорма в зависимости от нутритивного статуса и функционального состояния пищеварительной системы рекомендуется овощное пюре или каша [6]. В питании ребёнка рекомендуется использовать продукты и блюда прикорма промышленного производства, изготавливающиеся из высококачественного сырья, соответствующие необходимым гигиеническим требованиям, имеющие нужную степень измельчения. В ходе исследования выяснилось, что в возрасте 4-6 мес. получают первый прикорм 77±8,4%, ранее этого срока (3-3,5 мес.) – 16±7,3%, после 6 мес. – 7±5,1% малышей. Овощное пюре либо каша служат первым прикормом у 35±9,5% детей, у остальных первым прикормом являются, в основном, фруктовые соки и пюре. Средние сроки введения прикормов показаны в табл. 2. Большинство родителей в питании детей используют продукты и блюда прикорма промышленного производства (табл. 3).

Таблица 2

Средние сроки введения продуктов и блюд прикорма детям первого года жизни

Продукты и блюда прикорма	Количество детей, получивших прикорм на первом году,%	Сроки введения прикорма, мес.	
		средние	рекомендуемые
Овощное пюре	90±6	5,8±0,2	4-6
Каша	91±5,7	6,9±0,4	4-6
Фруктовое пюре	99±2	5,0±0,5	4-6
Фруктовый сок	95±4,4	5,9±0,5	4-6
Творог	90±6	7,6±0,4	4-6, не ранее 6
Мясо	94±4,7	7,7±0,4	4-6, не ранее 6
Яичный желток	75±8,7	9,1±0,5	7
Кефир	71±9,8	9,0±0,5	8

У 19±7,8% детей на введение прикорма наблюдаются нежелательные реакции в виде кожных проявлений пищевой аллергии и диспепсических симптомов.

В большинстве случаев (в среднем в 62%) кашу и мясоовощное блюдо дети получали 1 раз в день, в 20% – реже, в 18% – дважды в день (табл. 4).

В питании 5±4,4% детей использовались продукты, не входящие в список рекомендуемых. Такими продуктами явились сыр, колбаса, конфеты, мороженое, пироги, пицца.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Абсолютное большинство женщин (91±5,7%) настроены кормить своего ребёнка в течение одного года и более.

Таблица 3

Частота использования продуктов и блюд прикорма промышленного производства в питании детей первого года жизни

Продукты и блюда прикорма	Промышленного производства,%
Овощное пюре	94±5
Каша	87±7,1
Фруктовое пюре	93±5,1
Фруктовый сок	94±4,9
Творог	97±3,6
Мясо	88±6,7
Кефир	100

Таблица 4

Кратность включения некоторых видов прикорма в рацион детей

Вид прикорма	Кратность кормлений		
	через день или реже	1 раз в день	2 раза в день
Овощной прикорм	23,5±8,9%	67,3±9,9%	9,2±6,1%
Каша	10±6,3%	55±10,4%	35±10%
Мясо	27±9,2%	65±9,8%	8±5,6%

2. В первые 30 мин прикладываются к груди около половины новорождённых, но лишь незначительная их часть находится у груди в течение 30 мин и бо-

лее, а искусственная смесь до первого прикладывания к груди использовалась в питании 1/3 детей.

3. На исключительно грудном вскармливании до 4-6 мес. находятся около половины (56±9,9%) младенцев, продолжительность естественного вскармливания от 3 до 6 мес. составляет у 16±7,3%, от 6 до 12 мес. – у 54±10% детей.

4. Распространённость естественного вскармливания составляет в возрасте 3-6 мес. 66±5%, 7-12 мес. – 54±2,1%, что несколько лучше аналогичных показателей 2008 г. по Российской Федерации, которые были равны 40,8 и 39,3%, соответственно ($p < 0,001$) [6].

5. Основной причиной (73,5±12,6%) перевода детей на иной вид вскармливания является гипогалактия, перевод в большинстве случаев (63±13,8%) осуществляется без участия педиатра, но положительным моментом является выбор адаптированной смеси в качестве заменителя женского молока в 98±4%.

6. В рекомендуемые сроки (4-6 мес.) получают первый прикорм большинство (77±8,4%) детей, но вид первого прикорма соответствует рекомендуемому лишь в 1/3 случаев. В целом сроки введения прикормов, в сравнении с рекомендуемыми, оказались более поздними, а введённые прикормы не все дети получали ежедневно.

7. Несмотря на некоторые положительные тенденции в питании детей первого года жизни, дальнейших усилий требуют пропаганда грудного вскармливания и организация прикорма. Лучших результатов в данном случае можно ожидать, как считают специалисты, при раннем и эффективном прикладывании ребёнка к груди, совместном пребывании матери и ребёнка в лечебно-профилактическом учреждении, свободном режиме вскармливания, проведении активной разъяснительной, консультативной работы педиатра и медицинской сестры, непосредственно наблюдающих ребёнка с первых дней жизни, в семье [3].

Литература

1. Инновационные подходы к организации прикорма детям с пищевой аллергией из групп высокого риска по развитию атопии / *Т.Э. Боровик, О.К. Нетребенко, Н.Н. Семёнова и др.* // Педиатрия. 2011. Т. 90, № 3. С. 92-99.

2. Казюкова Т.В., Тулупова Е.В. Питание в раннем детстве – основной фактор формирования и поддержания здоровья в дальнейшей жизни // Педиатрия. 2012. Т. 91, № 6. С. 101-107.

3. *Конь И.Я.* Детская (педиатрическая) диетология (нутрициология): достижения и проблемы // Педиатрия. 2012. Т. 91, № 3. С. 59-66.

4. *Котлуков В.К., Кузьмина Л.Г., Антипова Н.В.* Биологически активные компоненты нативного материнского молока: некоторые иммунологические аспекты // Педиатрия. 2011. Т. 90, № 6. С. 55-58.

5. *Котлуков В.К., Кузьмина Л.Г., Антипова Н.В.* Современные технологии для поддержки грудного вскармливания // Педиатрия. 2011. Т. 90, № 5. С. 102-106.

6. Национальная программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации. М.: Союз педиатров России, 2010. 68 с.

7. Педиатрия: национальное руководство: в 2 т. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. Т. 1. 1024 с.

8. Питание и развитие мозга: роль длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот / *Т.Э. Боровик, С.Г. Грибакин, Н.Г. Звонкова и др.* // Педиатрия. 2012. Т. 91, № 2. С. 67-73.

9. Характер питания детей грудного и преддошкольного возраста в Российской Федерации. Практика введения прикорма / *В.А. Тутельян, А.К. Батурин, И.Я. Конь и др.* // Педиатрия. 2009. Т. 88, № 6. С. 15-21.

10. Isolation of bifidobacteria from breast milk and assessment of the bifidobacterial population by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis and quantitative real-time PCR / *R. Martin, E. Jimenez, H. Heilig et al.* // Appl. Environ. Microbiol. 2009. № 75. P. 965-969.

11. Long chain polyunsaturated fatty acid (LC-PUFA) and perinatal development / *B. Koletzko, C. Agostoni, S. Carlson et al.* // Acta Paediatr. Scand. 2011. № 90. P. 460-465.

12. *Lucas A., Makrides M., Ziegler E.E.* Importance of growth for health and development. Basel: Karger, 2010. 265 p.

13. Neurodevelopmental outcomes of preterm infants fed high-dose docosahexaenoic acid: a randomized controlled trial / *M. Makrides, R.A. Gibson, A.J. McPhee et al.* // JAMA. 2009. № 301. P. 75-82.

14. Short- and mildterm effects of a setting based prevention program to reduce obesity risk factors in children: A cluster-randomized trial / *O. Bayer, R. von Kries, A. Strauss et al.* // Clinical Nutrition. 2009. № 28. P. 122-128.

КРАСНОВ МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры детских болезней, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

KRASNOV MIKHAIL VASILYEVICH – doctor of medical sciences, professor of Childhood Illness Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

БОРОВКОВА МАРИНА ГЕОРГИЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры детских болезней, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (borovkovam@list.ru).

BOROVKOVA MARINA GEORGYEVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Childhood Illness Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

НИКОЛАЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА – ассистент кафедры детских болезней, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

NIKOLAEVA LARISA ANATOLYEVNA – assistant of Childhood Illness Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.24-008.4
ББК 54.12

С.В. ЛЕЖЕНИНА, Н.П. АНДРЕЕВА

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ТАБАКОКУРЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

Ключевые слова: *функция внешнего дыхания, студенты, психоактивные вещества.*

Представлены результаты анкетирования и оценки функции внешнего дыхания 254 студентов медицинского факультета (140 юношей и 114 девушек) от 20 до 25 лет по специально разработанной анкете. Выявлена низкая распространенность курения у студентов медицинского факультета – 12,5%. Показано отсутствие мотивации к отказу от курения. Выявлены начальные признаки нарушения функции внешнего дыхания у курящей молодежи.

S.V. LEGENINA, N.P. ANDREEVA
IDENTIFICATION AND STATE SMOKING PREVALENCE OF RESPIRATORY FUNCTION IN MEDICAL STUDENTS

Key words: *external respiration function, students, psychoactive substances.*

The results of the survey and assessment with the help of specially developed questionnaire of external respiration function of 254 students (140 youngsters and 114 girls) at the age of 20-25 years from universities are presented in his work. Revealed a low prevalence of smoking in medical students – 12,5%. The absence of motivation to quit smoking.The incipient character of abnormalities in external respiration functions for smoking youth were identified.

В настоящее время курение является самым распространенным способом использования психоактивных веществ в повседневной жизни. По данным ВОЗ, в настоящее время в развитых странах в среднем курят 42% мужчин и 24% женщин [2, 10-12]. В мире в среднем каждые шесть секунд умирает один человек от заболеваний, связанных с табакокурением. «Если тенденции нарастания распространённости курения не будут снижаться, то, по прогнозам, к 2020 г. ежегодно преждевременно будут умирать 10 млн человек, а к 2030 г. курение табака станет одним из самых главных факторов, приводящих к преждевременной смерти», в том числе от рака легких [7]. Особую тревогу вызывает тенденция роста числа потребляющих психоактивные вещества среди молодых людей [3-5]. Средний возраст приобщения к курению составляет 18 лет [9]. Для успешного снижения частоты курения среди молодежи необходимы, как минимум, два условия: желание (мотивация) курящих отказаться от курения и наличие рекомендаций и методов, способных помочь курящим сделать это как можно эффективнее [8]. В Чувашском госуниверситете реализуются следующие целевые программы по внеучебной и воспитательной работе: «Профилактика курения табака в ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова на 2010-2015 гг.», «Правовое воспитание студентов и комплексные меры профилактики правонарушений

на 2010-2015 гг.», «Развитие физической культуры, спорта и здорового образа жизни коллектива на 2011-2015 гг.», «Патриотическое воспитание и формирование гражданственности студентов в полиэтническом и социокультуральном пространстве на 2011-2015 гг.» [1].

Цель исследования – изучение влияния курения на состояние функции внешнего дыхания у студентов старших курсов медицинского факультета и последующая разработка рекомендаций по пропаганде здорового образа жизни.

Материалы и методы исследования. Данное исследование проводилось среди студентов V, VI курсов медицинского факультета Чувашского госуниверситета имени И.Н. Ульянова. Обследовано 254 человека, из них 140 юношей и 114 девушек. У всех обследованных проводились скрининг-опрос (в него входили вопросы по параметрическим данным, заболеваемости острыми респираторными инфекциями в течение года), пикфлоуметрия и спирометрия с определением ряда основных параметров функции внешнего дыхания (PEF, FEV1, FVC, индекс Тиффно). Среди курящих студентов проводился анализ табачной зависимости с применением теста Фагерстрема, оценивалась мотивация для отказа от курения по специальным анкетам [6]. Математико-статистическая обработка включала описательную статистику (расчет средней статистической, стандартного отклонения и ошибки средней статистической) и расчет критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Проанкетировано 254 студента старших курсов (V и VI курс) медицинского факультета Чувашского госуниверситета: 140 юношей и 114 девушек. При первичном опросе подтвердили факт курения 32 студента старших курсов медицинского факультета (12,5 %): 7 девушек и 25 юношей. Средний возраст некурящих студентов составил 21,8±0,06 года: девушек –21,5±0,11, юношей – 22,2±0,08 (табл.1). Средний возраст курящих студентов составил 21,9±0,32 года: девушек – 21,7±0,42, юношей – 22,0±0,40.

Средний рост некурящих студентов составил 168,1±0,54 см: девушек – 162,8±0,45 см, юношей – 172,4±0,73 см (табл.1). Средний рост курящих студентов составил 171,8±1,59 см; девушек – 164,0±1,49 см, юношей – 173,5±1,52 см. Таким образом, по возрасту и среднему росту группы курящих и некурящих студентов были сопоставимы.

Таблица 1

Характеристика групп исследования по возрасту и росту

Студенты	Средний возраст		Средний рост	
	юноши	девушки	юноши	девушки
Некурящие	22,2±0,08	21,5±0,11	172,4±0,73	162,8±0,45
Курящие	22,0±0,40	21,7±0,42	173,5±1,52	164,0±1,49
	$p < 0,9$	$p < 0,8$	$p < 0,9$	$p < 0,5$

При анализе частоты острых респираторных инфекций (ОРВИ) в течение года было установлено, что курящие студенты медицинского факультета в среднем болели 1,9±0,11 раза в год простудными заболеваниями. Некурящие студенты болели 1,2±0,03 раза в год ($p < 0,04$). Таким образом, некурящие студенты болели ОРВИ реже, чем курящие.

Среднее абсолютное значение пиковой скорости выдоха (ПСВ) у некурящих студентов составило 520,3±9,68 л/мин: 623,5±10,05 л/мин у юношей, 393,6±4,99 л/мин у девушек (табл. 2). Среднее абсолютное значение ПСВ у курящих студентов составило 538,7±21,99 л/мин: 591,4±21,42 л/мин у юношей, 384,3±20,59 л/мин у девушек (табл. 2).

Таким образом, при анализе показателей функции внешнего дыхания (ФВД) методом пикфлоуметрии ПСВ у некурящих и у курящих студентов не отличалась.

При анализе ФВД методом спирометрии показатели у курящих и некурящих студентов несколько отличались (табл. 3). Среднее значение функциональной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) составило у некурящих студентов 109,4±2,72% и у курящих студентов 102,9±2,91 ($p < 0,1$). Среднее значение жиз-

ненной емкости легких (ЖЕЛ) составило у некурящих студентов 108,4±2,92% и у курящих студентов 98,5±3,23 ($p < 0,05$). Объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1) у некурящих студентов составил 95,3±3,78%. Среднее значение ОФВ1 у курящих студентов составило 82,7±4,00% ($p < 0,04$). Среднее значение индекса Тиффно составило у некурящих студентов 87,2±3,46% и у курящих – 81,4±4,72 ($p < 0,3$).

Таблица 2

Показатели ПСВ в зависимости от табакокурения

Студенты	Среднее абсолютное значение ПСВ, л/мин		
	всего	юноши	девушки
Некурящие	520,3±9,68	623,5±10,05	393,6±4,99
Курящие	538,7±21,99	591,4±21,42	384,3±20,59
	$p < 0,4$	$p < 0,2$	$p < 0,7$

Таблица 3

Характеристика функции внешнего дыхания в зависимости от табакокурения

Показатели	Некурящие ($n = 30$)	Курящие ($n = 32$)	p
ФЖЕЛ	109,4±2,72	102,9±2,91	<0,1
ЖЕЛ	108,4±2,92	98,5±3,23	<0,05
$ОФВ_1$	95,3±3,78	82,7±4,00	<0,04
ИТ	87,2±3,46	81,4±4,72	<0,3

Таким образом, при анализе показателей ФВД методом спирометрии у некурящих студентов такие показатели, как ЖЕЛ и $ОФВ_1$ были выше, чем у курящих студентов, хотя и находились в пределах допустимых возрастных колебаний в обеих группах. Это свидетельствует о формировании изменений в респираторном тракте, обусловленных табакокурением, что в дальнейшем может реализоваться в виде хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ).

Средняя продолжительность курения у курящих студентов составила 6,0±0,42 года: у девушек 3,4±0,72 года (минимум 1 год, максимум 7 лет), у юношей 6,8± 0,39 года (минимум 4 года, максимум 12 лет). Среднее количество выкуриваемых в сутки сигарет составило у студентов 8,3±0,80: у девушек 2,6±0,20, у юношей 9,9±0,75. Эти данные позволили рассчитать индекс курящего человека (ИК). ИК рассчитывался по формуле:

ИК = (число сигарет, выкуриваемых в день × количество лет курения) / 20.

ИК среди курящих студентов составил 2,5 пачко-года: 3,4 у юношей и 0,4 у девушек. Таким образом, более длительным был стаж курения у студентов-юношей, наибольшая интенсивность курения также была выявлена у юношей.

Средняя степень никотиновой зависимости по Фагерстрему среди студентов составила 2,2 балла: 2,3 у юношей и 1,0 у девушек. Таким образом, никотиновая зависимость характеризовалась как «очень слабая», и среди всех студентов была наивысшей у юношей.

Оценка мотивации к отказу от курения по результатам анкетирования анализировалась следующим образом: < 3 (отсутствие мотивации к отказу от курения), 4-6 (слабая мотивация), > 6 баллов (высокая мотивация). Оценка преобладающих факторов мотивации к курению оценивали по сумме баллов и группировали следующим образом: мотивация № 1 «Желание получить стимулирующий эффект от курения»; мотивация № 2 «Потребность манипулировать сигаретой»; мотивация № 3 «Желание получить расслабляющий эффект»; мотивация № 4 «Использование курения как поддержки при нервном напряжении»; мотивация № 5 «Существует сильное желание курить (психологическая зависимость)»; мотивация № 6 «Привычка». При этом : < 7 (слабая мотивация), 7-11 (средняя мотивация), > 11 баллов (сильная мотивация). Было установлено, что среди студентов преобладало отсутствие мотивации к отказу от курения (1,9±0,10 балла): у юношей 1,8±0,18, у девушек 2,4±0,05 (табл. 4).

Преобладающие факторы мотивации к курению у курящих студентов: использовали курение для стимулирования собственной активности – 7,6 баллов: юноши 8,6 (средняя мотивация), девушки 6,6 (средняя мотивация). Потребность манипулировать сигаретой у мужчин 7,6 баллов (средняя мотивация), у женщин 9,3 (средняя мотивация). Студенты курят для расслабления – 7,9 балла:

8,5 юноши и 7,2 девушки. Поддержка при нервном напряжении – 6,1 балла: 7,6 у юношей и 4,6 у девушек. Психическая зависимость от курения у студентов регистрировалась на уровне 6,9 баллов: 8,4 у юношей и 5,4 у девушек. Таким образом, среди студентов преобладало отсутствие мотивации к отказу от курения. Среди факторов мотивации к курению среди юношей преобладали желание получить стимулирующий эффект от курения и психологическая зависимость. При этом психологическая зависимость у юношей была статистически значимо выше, чем у девушек. Среди факторов мотивации к курению у девушек преобладала потребность манипулировать сигаретой.

Таблица 4

Характеристика мотиваций отказа и факторов мотивации к табакокурению

Мотивации	Всего, баллы	Юноши, баллы	Девушки, баллы	P_{3-4}
Мотивация к отказу от курения	1,9±0,10	1,8±0,18	2,4±0,05	0,2
Преобладающие факторы мотивации к курению:				
желание получить стимулирующий эффект от курения	8,2±0,35	8,6±0,15	6,6±1,14	0,6
потребность манипулировать сигаретой	8,0±0,23	7,6±0,07	9,3±1,00	0,6
желание получить расслабляющий эффект	8,1±0,25	8,5±0,27	7,2±0,25	0,3
использование курения как поддержки при нервном напряжении	6,9±12	7,6±0,09	4,6±0,29	0,06
существует сильное желание курить (психологическая зависимость)	8,2±0,03	8,4±0,12	5,8±0,23	0,05

Выводы. В результате исследования было установлено, что курящие студенты медицинского факультета чаще болели ОРВИ. В ходе работы выявлена невысокая доля курящих среди студентов медицинского факультета – 12,5%. У курящих студентов-юношей установлены более длительный стаж и большая частота курения в сутки по сравнению с курящими студентками. Результаты инструментальных методов исследования показали отсутствие достоверных изменений в состоянии функции внешнего дыхания среди курящих и некурящих студентов при проведении пикфлоуметрии и спирометрии. В то же время у курящих студентов обнаружены некоторые функциональные изменения, свидетельствующие о наличии у них ухудшения бронхиальной проводимости, что свидетельствует о формировании изменений в респираторном тракте, обусловленных табакокурением, что в дальнейшем может реализоваться в виде ХОБЛ. Среди факторов мотивации к курению преобладали желание получить стимулирующий эффект от курения, потребность манипулировать сигаретой и психологическая зависимость. При этом психологическая зависимость у юношей была статистически значимо выше, чем у девушек. Низкий процент приобщенных к табакокурению, по-видимому, объясняется активной пропагандой здорового образа жизни на общеуниверситетском уровне и на медицинском факультете в частности. Однако обращают на себя внимание «очень слабая» никотиновая зависимость среди всех курящих студентов и отсутствие мотивации к отказу от курения, что связано с неумением части студентов обоих полов бороться со стрессом более «здоровыми» способами и необходимостью более активного их вовлечения в студенческое движение под эгидой Студенческого совета «Молодежь за здоровый образ жизни».

Литература

1. *Булыгина И.Е., Андреева А.П., Голенков А.В.* Организация мероприятий по профилактике потребления психоактивных веществ среди студентов Чувашского госуниверситета // Вестник Чувашского университета. 2012. № 3. С. 309-315.

2. Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака в Российской Федерации. Страновой отчет / Всемирная организация здравоохранения. М., 2010. 171 с.

3. *Голенков А.В.* Социально-психологические особенности табачной зависимости у жителей Чувашии // Наркология. 2013. № 1. С. 28-32.

4. *Голенков А.В., Андреева А.П.* Освещение вопросов алкоголизации студентов-медиков в зарубежных научных журналах // Здравоохранение Чувашии. 2009. № 4. С. 85-92.

5. *Дубровинская Е.И.* Социально-психологические условия формирования мотивации первичного отказа от табакокурения среди студенческой молодежи: автореф. дис. … канд. мед. наук. М., 2012. 156 с.

6. Комплексное лечение табачной зависимости и профилактика хронической обструктивной болезни легких, вызванной курением табака / *А.Г Чучалин., Г.М. Сахарова., Н.С. Антонов и др.* // Методические рекомендации Министерства здравоохранения и социального развития. 2003. № 2002. 154 с.

7. О присоединении Российской Федерации к Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака: Федеральный закон от 24.04.2008 г. № 51-ФЗ // Рос. газета. 2008. № 4651, 30 апр. С. 3-6.

8. Пульмонология: национальное руководство / под ред. А.Г. Чучалина. М.: Геотар-Медиа, 2009.

9. Россия присоединяется к борьбе с табакокурением // Главный врач. 2012. № 1. С. 21-26.

10. Future physicians and tobacco: An online survey of the habits, beliefs and knowledge base of medical students at a Canadian university / *A.J. Vanderhoek, F. Hammal, A. Chappell et al.* // Tob. Induc. Dis. 2013. Vol. 4, № 11(1), Apr. P. 9-17.

11. *Huisman M., Kunst A.E., Mackenbach J.P.* Educational in equalities in smoking among men and women aged 16 years and older in 11 European countries // Tob. Control. 2005.Vol. 4('2), Apr. P. 106-113.

12. *Lam T.S., Tse L.A., Yu I.T., Griffiths S.* Prevalence of smoking and environmental tobacco smoke exposure, and attitudes and beliefs towards tobacco control among Hong Kong medical students // Public Health. 2009. Vol. 123, № 1, Jan. P. 42-46.

ЛЕЖЕНИНА СВЕТЛАНА ВАЛЕРЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры управления и организации здравоохранения, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (priem_kuez@chuvsu.ru).

LEGENINA SVETLANA VALEREVNA – candidate of medical sciences, assistant professor, Health Management and Organization Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АНДРЕЕВА НАТАЛИЯ ПЕТРОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии, клинической иммунологии и аллергологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (natalia_utt@mail.ru).

ANDREEVA NATALIYA PETROVNA – candidate of medical sciences, assistant professor, Pediatrics, Clinical Immunology and Allergology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 618.19-006.6-073.75(470.344)
ББК Р569.133.1-436.1

Е.Л. МАЛЬЧУГИНА, В.Н. ДИОМИДОВА, Т.В. АГАФОНКИНА

МАММОСЦИНТИГРАФИЯ В АЛГОРИТМЕ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Ключевые слова: *рак молочной железы, маммосцинтиграфия, специализированная гамма-визуализация для маммологии, лучевая диагностика.*

Изучена заболеваемость раком молочной железы по Чувашской Республике за последнее десятилетие. Представлен анализ результатов маммосцинтиграфии в алгоритме лучевой диагностики рака молочной железы. Изучена информативность сцинтиграфии молочной железы 105 женщин в возрасте от 37 до 83 лет с непальпируемыми новообразованиями молочной железы, обнаруженными при ультразвуковой и/или рентгеновской маммографии. В зависимости от характера накопления радиофармпрепарата 99^{m}Tc-МИБИ *в ткани молочной железы полученные данные исследования подразделены на группы, что позволило дифференцировать ранние признаки рака молочной железы.*

E.L. MALCHUGINA, V.N. DIOMIDOVA, T.V. AGAFONKINA

MAMMOSCINTIGRAPHY IN ALGORITHM RADIOLOGY OF BREAST CANCER

Key words: *breast cancer, mammoscintigraphy, breast specific gamma imaging, radiology.*

A research has been held on the breast cancer sickness rate in Chuvash Republic for the past decade. Mammoscintigraphy results analysis has been presented through breast cancer algorithm of radiology diagnostics. The diagnostic relevancy of breast scintigraphy method was studied on the example of 105 women at the age of 37-83 with nonpalpable breast tumors discovered at ultrasonography and/or mammography. According to the type of radiopharmaceuticals 99^{m}Tc-MIBI *accumulation in the breast tissues all the data gathered at the research have been divided into groups, which helped differentiate the early symptoms of breast cancer.*

Заболевания молочной железы (МЖ) являются наиболее частой патологией среди всех заболеваний репродуктивной системы женщин. По данным ВОЗ, в мире ежегодно регистрируется свыше 8 млн вновь выявленных онколо-

гических больных и среди причин инвалидизации населения трудоспособного возраста онкологические заболевания занимают второе место [2].

Рак молочной железы (РМЖ) в структуре онкологической заболеваемости женщин в развитых странах занимает первое место и составляет до 26% всех случаев рака всех локализаций [5]. По данным ВОЗ, каждый год в мире регистрируется более миллиона новых случаев РМЖ и ежегодно среди них более половины умирает [2].

Статистические данные по заболеваемости РМЖ свидетельствуют о его неуклонном, интенсивном росте. В Российской Федерации показатель заболеваемости РМЖ на 100 тыс. населения с 2000 по 2010 г. возрос в 1,3 раза (2000 г. – 58,08; 2010 г. – 75,1) [9]. В большинстве стран основной упор в диагностике заболеваний молочных желез делается на маммографию [4]. По различным данным, чувствительность этого метода при выявлении образований молочной железы составляет 52-93%, специфичность – до 97%. По данным Г.Е. Труфанова (2009 г.), в МЖ с большим содержанием жировой ткани или в областях с высоким содержанием жира чувствительность РМГ приближается к 100%, а некоторые образования (липомы, типичные гамартомы, фиброаденомы с характерной кальцификацией, кисты с жировым содержимым и некоторые галактоцеле, интрамаммарные лимфатические узлы) имеют столь четкие маммографические признаки, что дальнейшие диагностические исследования не являются обязательными [7].

РМЖ отличается многообразием клинических форм и характеризуется чрезвычайной прогностической пестротой. Прогноз при этом заболевании зависит от стадии распространенности онкологического процесса и размеров опухоли к моменту начала лечения, от наличия или отсутствия метастазов в регионарных лимфатических узлах. Выявление ранних стадий РМЖ и предшествующих ему пролиферативных процессов является одной из первостепенных и интенсивно разрабатываемых проблем современной онкологии [1]. По данным Г.Е. Труфанова, В.В. Рязанова, Л.И. Ивановой (2008 г.), за последние 10 лет существенно увеличилось количество молодых женщин, заболевших РМЖ [8]. Кроме того, на фоне широкого применения гормональной заместительной терапии, в последнее время увеличилось количество женщин с плотным фоном МЖ, так как эстроген усиливает пролиферацию нормальных клеток, что служит фактором повышения плотности МЖ и риском развития рака, особенно непальпируемых опухолей МЖ.

РМЖ относится к заболеваниям, которые можно диагностировать при физикальном обследовании – осмотре и пальпации, особенно при наличии так называемых опухолях визуальной локализации. Но ранние доклинические стадии болезни диагностировать значительно труднее, и это требует применения специальных инструментальных методов и современных технологий лучевой диагностики.

Целью исследования была оптимизация раннего выявления РМЖ с внедрением в алгоритм лучевой диагностики метода маммосцинтиграфии.

Материалы и методы исследования. В соответствии с требованиями приказов Министерства здравоохранения и социального развития ЧР № 753 от 18.06.2010 г. «О мерах по совершенствованию раннего выявления больных с онкологическими заболеваниями в Чувашской Республике», № 495 от 11.04.2012 г. «Об оказании медицинской помощи населению Чувашской Республики при онкологических заболеваниях» на территории ЧР началась реализация программы скрининга РМЖ, предусматривающая проведение маммографии женщинам в возрасте 40-65 лет, УЗИ МЖ женщин в возрасте 30-40 лет. В соответствии с этим в медицинских учреждениях ЧР при оказании первичной медицинской помощи, диагностический алгоритм МЖ на первом этапе комплексного исследования

включал проведение следующих мероприятий: осмотр, пальпация молочных желез и региона МЖ на предмет выявления патологически измененных лимфоузлов в подмышечной, над- и подключичной областях; рентгеновская и ультразвуковая маммографии. При выявлении опухолевой патологии МЖ в последующем пациентки направлялись в БУ ЧР «Республиканский клинический онкологический диспансер» МЗ и СР ЧР для оказания специализированной диагностической и лечебной медицинской помощи с последующей верификацией диагноза.

В разработанном нами стандарте исследования МЖ использованы: рентгеновская маммография; комплексное ультразвуковое исследование (УЗИ) с использованием режимов цветового и энергетического допплеровского картирования, соноэластографии и эластографии сдвиговой волны; компьютерная томография (КТ) с внутривенным контрастным усилением; магнитно-резонансная томография (МРТ), маммосцинтиграфия и другие радионуклидные методы исследования.

Нами проведен углубленный анализ радионуклидных исследований МЖ 105 женщин в возрасте от 37 до 83 лет (средний возраст – 42±5,4 года) с непальпируемыми новообразованиями МЖ, обнаруженными при ультразвуковой и/или рентгеновской маммографии.

Сцинтиграфия МЖ проводилась с помощью портативной мобильной гамма камеры (система гамма-визуализации DILON 6800, производитель «Дилон Технолоджис Инк.» США) по методу BSGI (Breast Specific Gamma Imaging – специализированная гамма-визуализация для маммологии) с применением компактного детектора размерами 15×20×10 см и коллиматором LEHR (low energy high resolution – низкой энергии высокого разрешения) с применением радиофармпрепарата ^{99m}Tc-МИБИ (^{99m}Tc-метоксиизобутилизонитрил) с активностью от 370 до 700 МБк. При этом использованы укладки в прямой и боковой проекциях, аналогичные применяемым при классической рентгеновской маммографии. У женщин с МЖ большого объема применялась тройная проекция – вначале сканировались наружные квадранты каждой железы по отдельности, а затем синхронно – медиальные квадранты. Исследования проводились с 3-го по 12-й день менструального цикла, либо в период менопаузы. Результаты маммосцинтиграфии анализировались по характеру накопления радиофармпрепарата ^{99m}Tc-МИБИ в ткани МЖ.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами изучена заболеваемость РМЖ в Чувашской Республике за последнее десятилетие (рис. 1). При этом выявлено, что заболеваемость РМЖ в Чувашской Республике (ЧР) с 2002 по 2012 г. увеличилась в 1,6 раза.

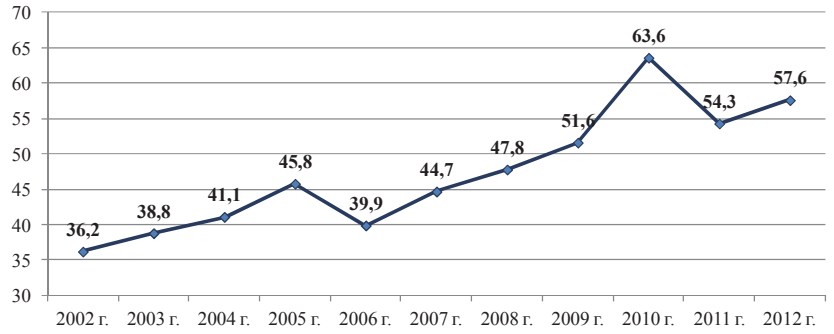


Рис. 1. Заболеваемость РМЖ в Чувашской Республики на 100 тыс. населения

Сравнительный анализ заболеваемости РМЖ на 100 тыс. населения, по данным 2012 г. по ЧР, с аналогичными данными по РФ показал, что эти показа-

тели в ЧР были несколько ниже (57,6), чем в РФ (75,1). Вместе с тем отмечена тенденция к изменению структуры РМЖ с увеличением количества диагностированных случаев злокачественных новоообразований МЖ на его ранних стадиях. При этом также наблюдалось снижение удельного веса больных с запущенными стадиями РМЖ (III-IV стадии) на 10,3% (с 42,9% в 2002 г. – до 32,6% в 2012 г.), что по РФ составило 33,9% (рис. 2).

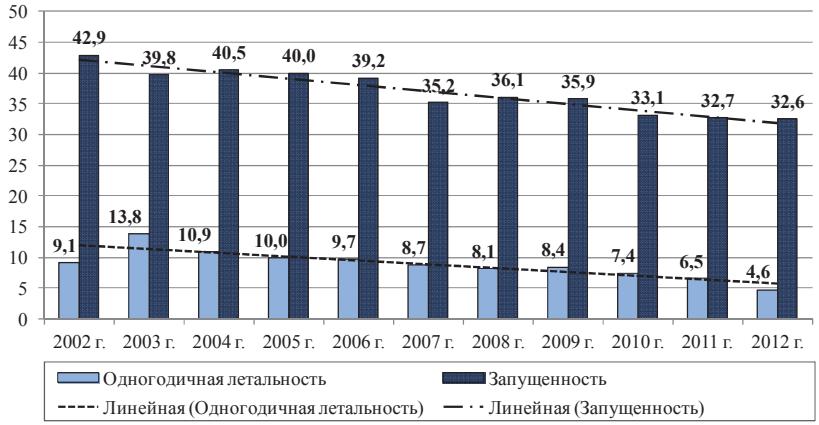


Рис. 2. Запущенность и одногодичная летальность в течение года от РМЖ в Чувашской Республике,%

Оценка результатов исследования маммосцинтиграфии, рентгеновской маммографии, комплексного ультразвукового исследования, МРТ и КТ молочной железы производилась по следующим категориям в соответствии с международной классификацией BI-RADS [11].

Категория А. Окончательное заключение невозможно.

А.0: Необходимы дополнительные исследования и/или предоставление данных предыдущего исследования для проведения сравнения (применялась преимущественно при скрининге).

Категория Б. Окончательное заключение возможно (окончательные категории).

Б.1. Отрицательная (какие-либо патологические структуры отсутствуют).

Б.2. Доброкачественные структуры.

Б.3. Вероятно, доброкачественные структуры (рекомендовано повторное исследование через непродолжительное время; данные считаются стабильными, если изменений не происходит при обследовании пациента с интервалом в 6 месяцев на протяжении 2 лет).

Б.4. Подозрение на злокачественное образование (рекомендовано выполнение биопсии).

Б.5. Крайне высокая вероятность злокачественности (должны быть приняты соответствующие меры).

Б.6. Гистологически подтвержденное злокачественное образование (должны быть приняты соответствующие меры).

По интенсивности накопления радиофармпрепарата в МЖ нами все обследованные пациентки распределены на 5 подгрупп в соответствии с пятью категориями международной классификации BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System). Ниже представлена характеристика данных групп: n_1 (Bi-rads 1) – равномерное, диффузное, слабо интенсивное накопление радиофармпрепарата;

n_2 (Bi-rads 2) – симметричное, неравномерное, слабо или умеренно интенсивное накопление, с участками гипофиксации радиофармпрепарата; n_3 (Bi-rads 3) – неопределенное накопление, чаще асимметричное, неравномерное, умеренно и высоко интенсивное; n_4 (Bi-rads 4) – очаговое накопление радиофармпрепарата низкой или умеренной интенсивности; n_5 (Bi-rads 5) – очаговое накопление радиофармпрепарата высокой или крайне высокой интенсивности. По характеру выявленной патологии МЖ распределение обследованных пациенток произошло следующим образом: Bi-rads 1 – 37 случаев (35,3%); Bi-rads 2 – 4 (3,8%); Bi-rads 3 – 21 (22,1%); Bi-rads 4 – 18 (17,1%) и Bi-rads 5 – 25 (23,8%).

Известно, что радиофармпрепарат ^{99m}Tc-МИБИ является наиболее изученным для визуализации опухолевой ткани. В эксперименте было показано, что наиболее интенсивно данный препарат накапливается в митохондриях жизнеспособных атипичных клеток, отражая тем самым интенсивность обменных процессов в опухолевой ткани и уровень кровотока в ней [3, 8, 10, 12].

Результаты нашего исследования согласовывались с этим, и по полученным при маммосцинтиграфии данным с очаговым характером накопления радиофармпрепарата в МЖ из групп n_4-n_5 были выполнены секторальные резекции, при этом у 35,2% больных (37 случаев) был выявлен РМЖ. Во всех этих случаях результаты маммосцинтиграфии достоверно подтверждены результатами гистоморфологических исследований.

Данные сцинтиграфии МЖ в группах n_1-n_3 позволили отказаться от оперативного вмешательства у этих лиц и оставить их под динамическим наблюдением. За период наблюдения (от 3 до 9 месяцев) у них не отмечено отрицательных изменений.

Вывод. Использование BSGI-маммосцинтиграфии на дооперационном этапе исследования пациенток с подозрением на злокачественное новообразование МЖ является перспективным методом молекулярной визуализации в алгоритме ранней диагностики непальпируемого РМЖ. Использование в работе критериев BI-RADS может способствовать объективизации полученных при маммосцинтиграфии данных и определению дальнейшей адекватной тактики ведения пациентов.

Литература

1. *Давыдов М.И.* Энциклопедия клинической онкологии. М.: ООО «РЛС-2004», 2004.

2. *Давыдов М.И., Аксель Е.М.* Злокачественные новообразования в России и странах СНГ в 2000 г. М.: Медицина, 2002.

3. Маммосцинитграфия с ^{99m}Tc-МИБИ в диагностике рака молочной железы / *А.А. Тицкая, В.И. Чернов, Е.М. Слонимская и др.* // Сибирский медицинский журнал. 2010. № 25(4). С. 92-95.

4. Методики ультразвукового исследования в диагностике рака молочной железы / *А.Н. Сенча, Е.В. Евсеева, Д.А. Петровский и др.* М.: ВИДАР-М, 2011. 152 с.

5. *Переводчикова Н.И.* Руководство по химиотерапии опухолевых заболеваний. М.: Медицина, 2011.

6. *Труфанов Г.Е.* Руководство по лучевой диагностике заболеваний молочных желез. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2009. 351 с.

7. *Труфанов Г.Е., Рязанов В.В., Иванова Л.И.* УЗИ в маммологии. СПб.: ЭЛСБИ-СПб, 2008. 186 с.

8. *Усов В.Ю., Обрадович В., Костенников Н.А.* Маммосцинтиграфия: краткий очерк современного клинического применения // Радиология-Практика. 2001. № 3. С. 10-23.

9. *Чиссов В.И., Старинский В.В., Петрова Г.В.* Состояние онкологической помощи населению России в 2010 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2011.

10. A three center study on the diagnostic accuracy of 99mTc-MIBI scintimammography / *F. Scopinaro, O. Scillaci, W. Ussov et al.* // Anticancer Res. 1997. Vol. 17(3B). P. 1631-1634.

11. American College of Radiology (ACR). ACR BI-RADS. 4 ed. // ACR Breast Imaging Reporting and Data System, Breast Imaging Atlas. Reston: VA. American College of Radiology, 2003.

12. *Arbab A.S., Koizumi K., Toyama K., Araki T.* Uptake of technetium-99m-tetrofosmin, technetium-99m-MIBI and thallium-201 in tumor cell lines // J. Nuc. Med. 1996. Vol. 37, № 9. P. 1551-1156.

МАЛЬЧУГИНА ЕЛИЗАВЕТА ЛЕОНИДОВНА – заместитель главного врача по поликлиническому разделу работы, Республиканский клинический онкологический диспансер; главный внештатный специалист по лучевой диагностике, Министерство здравоохранения и социального развития Чувашской Республики, Россия, Чебоксары (iponko@medinform.su).

MALCHUGINA ELIZAVETA LEONIDOVNA – currently holds the position of deputy chief medical officer for diagnosis and polyclinic, Republic Clinical Oncology Center; leading freelance radiology expert, Chuvash Republic Ministry of Health and Social Development, Russia, Cheboksary.

ДИОМИДОВА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА. См. с. 421.

АГАФОНКИНА ТАТЬЯНА ВСЕВОЛОДОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры функциональной и лабораторной диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары.

AGAFONKINA TATYANA VSEVOLODOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Functional and Laboratory Diagnostics Chair, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

УДК 616.313; 616.31
ББК 56.6

Л.Р. МУХАМЕДЖАНОВА, Р.Ю. ИЛЬИНА

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕРАПИИ ПСИХОТРОПНЫМИ СРЕДСТВАМИ И РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ОСТЕОПОРЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕЛОМОВ СРЕДИ ПСИХИЧЕСКИ БОЛЬНЫХ

Ключевые слова: *переломы костей, нейролептики, антидепрессанты, остеопороз, психически больные.*

Проведен анализ историй болезни психически больных с перенесенными травмами, госпитализированных в РКПБ имени В.Н. Бехтерева (г. Казань) в период с 1996 по 2010 г. Проведена сравнительная оценка частоты травм среди больных с различными типами психотропной терапии и факторами риска возникновения остеопороза. Выявлено увеличение частоты переломов шейки бедренной кости среди пациентов, принимавших типичные нейролептики и нейролептики совместно с антидепрессантами. Обнаружена зависимость между частотой переломов и длительностью госпитализации, индексом массы тела, количеством назначаемых препаратов. Рекомендована разработка профилактических программ для психически больных при длительной терапии психотропными средствами.

L.R. MUCHAMEDZHANOVA, R.Yu. ILYINA
ANALYSIS CORRELATIONS BETWEEN THE THERAPY OF PSYCHOTROPIC DRUGS AND OSTEOPORETICS FRACTURES AMONG PSYCHIATRIC PATIENTS

Key words: *bone fractures, neuroleptics, antidepressants, osteoporosis, psychiatric patients.*

Analysis history of psychiatric patients with transferred fractures hospitalized in Republic Clinical Psychiatric hospital V.N. Behtereva's name (Kazan) by the 1996-2010 years is carried out. Comparative assessment of the frequency trauma into the psychiatric patients with another types psychotropic therapy and factors risk of the emergence osteoporosis was defined. The increase frequency of femur neck fractures in the patients accepting typical neuroleptics and neuroleptics with antidepressants was taped. Dependence between frequency of fractures and duration of hospitalization, index body masses, number of medicinal preparations was discovered. Development of prophylactic programmed for psychiatric patients with long duration of psychotropic drug therapy was recommended.

Проблема лечения пациентов с повреждениями опорно-двигательного аппарата и психическими расстройствами является актуальной. По данным И.Ю. Клюквина и соавт. (2005 г.), в Москве психически больные составляют 5% от общего числа пострадавших с травмами. Наиболее частыми были переломы костей таза, позвоночника и костей голени [2]. Одной из причин высокой распространенности переломов среди психически больных является развитие как сенильного, так и лекарственного остеопороза [5, 7, 12].

Для лечения шизофрении широко применяются нейролептики, которые повышают уровень пролактина в крови [1]. Пролактин тормозит выработку гонадотропных гормонов в гипоталамусе, и периферический эффект проявляется в виде снижения выработки в половых железах лютеинезирующего и фолликулстимулирующего гормонов [10]. Снижение концентрации половых гормонов приводит к снижению активности остеобластов, реабсорбции кальция в кишечнике и увеличению его выделения почками. При длительном приеме нейролептиков побочными эффектами являются остеопения и остеопороз.

Антидепрессанты также оказывают остеопоретическое действие [3]. Доказано, что среди трициклических антидепрессантов только амитриптилин повышает риск переломов, в основном увеличивая возможность падений.

Депрессивные расстройства часто связаны с общим ухудшением здоровья и изменением образа жизни, что способствует развитию осложнений в виде снижения минеральной плотности костной ткани (МПКТ) [9]. Депрессии часто связаны с курением [4], которое способствует снижению количества эстрогена и нарушению всасывания кальция в кишечнике [11], что также приводит к снижению МПКТ. Депрессии неразрывно связаны с увеличением потребления алкоголя, что снижает активность деления клеток организма и нарушает их нормальное функционирование, что также ведет к снижению МПКТ [8]. Депрессии связаны также с гиподинамией, что является одним из ключевых факторов в развитии остеопороза [11]. Также давно известна ассоциация между депрессией и индексом массы тела, который коррелирует с МПКТ. Объясняется эта связь двумя механизмами: во-первых, в жировых клетках накапливается эстроген, который стимулирует образование костной ткани [12], во-вторых, жировая ткань повышает сопротивляемость скелета к физическим нагрузкам и стимулирует активность остеобластов [6].

Таким образом, развитие остеопороза у психически больных и увеличение риска остеопоретических переломов могут быть связаны с воздействием нескольких факторов.

Целью исследования являлся анализ связи между частотой переломов среди психически больных и факторами риска развития остеопороза.

Материалы и методы исследования. Для реализации задач исследования был проведен ретроспективный анализ 814 историй болезни пациентов в возрасте от 22 до 89 лет (средний возраст – 58,6±12,7 года), проходивших лечение в РКПБ в период с 1996 по 2010 г. Среди проанализированных историй болезни 52,6% пациентов (428 чел.) были мужчины и 47,4% (386 чел.) – женщины. Статистический анализ результатов проводили при помощи программы «SPSS-14 for Windows» с вычислением средней арифметической – *M*, ошибки средней арифметической – *m*. Достоверность полученных данных оценивали с помощью критерия достоверности – *t* (критерий Стьюдента, Ньюмена–Кейсла). Для выяснения зависимости между отдельными показателями применялся корреляционный анализ. Результаты считали достоверными при $p < 0,05$.

С целью выявления факторов риска все больные по типу психотропной терапии были разделены на несколько групп – группа больных, принимавших типичные нейролептики (хлорпромазин, тиоридазин, галоперидол, флупентиксол и др.); атипичные нейролептики (клозапин, сульпирид, рисперидон, оланзапин и др.); трициклические антидепрессанты (амитриптилин, азафен и др.); селективные ингибиторы обратного захвата серотонина (флуоксетин, сертралин и др.), и группа, принимавшая разные типы психотропных средств.

Определение суточной нейролептической нагрузки больных проводилось по хлорпромазиновому (аминазиновому) эквиваленту. Согласно ему, эффективность всех нейролептиков практически одинакова при применении адекватных доз, уровень которых определяется индивидуальной мощностью антипсихотического действия препарата (British National Formulary, 2003).

Всего за период с 1996 по 2010 г. травмы диагностированы у 814 психически больных. Из них под категорию «остеопоретические переломы» входило 412 случаев (50,61%), т.е. половина всех травм в РКПБ. Диагноз «остеопоретический перелом» был поставлен на основании данных рентгенологического исследования (истончение/прерывистость кортикального слоя кости, увеличение межтрабекулярных промежутков, истончение костных трабекул, поперечная или косая линия перелома). В данную категорию включались переломы, которые считаются типичными для остеопороза – переломы шейки бедренной кости, костей предплечья и переломы позвоночника. Не включались в данную группу переломы, полученные пациентами в молодом возрасте в результате попыток суицида, побега. В категорию больных с остеопоретическими переломами включались больные старше 45 лет, получившие травмы в результате падения. В разные годы доля больных с остеопоретическими переломами варьировала от 22,92% (2003 г.) до 71,05% (1999 г.). Средний возраст пациентов, перенесших травму, – 43,15±9,85, средний возраст пациентов с остеопоретическими переломами – 65,23±3,03 ($p < 0,01$). Столь значимый разрыв между средним возрастом пациентов объясняется причинами остальных травм. Переломы, полученные при попытке побега и суицида, получают в основном люди молодого возраста. Остеопоретические переломы же более характерны для старшей возрастной группы. С этим связаны и гендерные различия. В группе пациентов с остеопоретическими переломами преобладают женщины – 304 (73,8%), в остальных травмах различия между полом недостоверны (53,73% женщин и 46,27% мужчин); полученные данные согласуются с результатами ранее проведённых исследований [2].

Обращает на себя внимание отсутствие возрастных различий между больными, получавшими разные виды психотропной терапии (табл. 1). Средний возраст всех пациентов, получивших травму, составил 62,18-68,57 года. Причем в группах, принимавших антидепрессанты, количество женщин статистически значимо преобладало.

Чаще всего депрессивные расстройства диагностируются у женщин, которые настроены на лечение более лояльно, чем мужчины.

Индекс массы тела (ИМТ) у психически больных в основном соответствовал норме (20-25), но с тенденцией к уменьшению. В группе больных со смешанным приемом психотропных препаратов индекс массы тела был наименьшим (19,62). Возможно, это связано с тем, что данная группа пациентов является наиболее тяжелой и имеет длительный стаж госпитализации (13,25 года) (табл. 1). Отсутствие инсоляции, однообразная диета, малоподвижный образ жизни приводят к высокой частоте переломов среди этой категории больных [5, 9] (табл. 2).

Самым высоким индекс массы тела был у больных, принимавших антидепрессанты. Это связано с преобладанием в ней женщин (61-64%) и тенденцией пациентов с депрессиями к перееданию [1, 4]. Нужно отметить, что основная масса психически больных имеет низкий ИМТ (менее 20), при этом была выявлена корреляционная зависимость ИМТ от длительности госпитализации ($r = 0,786$; $p < 0,05$). Низкий ИМТ – один из факторов риска развития остеопороза [9]. Большинство психически больных подвержены алкогольной и табачной зави-

симости (табл. 1). Наименьшее число таких больных – среди принимавших антидепрессанты, что может быть связано с преобладанием в ней женщин среднего возраста. Хронический прием алкоголя и курение также являются отягощающими факторами, ведущими к развитию остеопороза [8, 11].

Таблица 1

Факторы риска у психически больных с разными типами психотропной терапии

Показатель	Нейролептики		Трициклические антидепрессанты (*n* = 143)	Ингибиторы обратного захвата серотонина (*n* = 122)	Смешанный прием (*n* = 233)
	типичные (*n* = 218)	атипичные (*n* = 98)			
Возраст, годы	62,18±12,3	66,94±9,5	64,21±10,1	67,44±21,0	68,57±18,9
Пол, женщины,%	53,28	45,33	61,19	64,93	51,77
Индекс массы тела	22,16±4,58	23,84±6,25	25,83±7,11	24,46±5,15	19,62±9,33
Прием алкоголя,%	67,24	72,31	54,84	55,29	69,43
Курение,%	62,61	64,85	54,83	57,12	68,22
Среднее количество принимаемых препаратов	5,6±1,04	4,8±0,95	5,1±1,03	4,4±0,88	4,1±0,93
Стаж госпитализации, годы	12,77±4,62	9,17±5,29	8,18±7,21	9,14±5,88	13,25±4,19
Средняя суточная доза нейролептика, г	216,28±67,2	187,55±53,8	-	-	151,13±87,1
Двигательные нарушения,%	24,16	9,48	1,15*	0,95*	26,66
Деменция,%	18,24	14,28	8,65	3,25*	19,11
Депрессивные расстройства,%	61,13	57,22	83,71	89,27	69,94
Предыдущие переломы в анамнезе,%	58,16	51,49	34,18	33,05*	70,54
Прием препаратов, индуцирующих остеопороз,%:					
бензодиазепины	38,21	31,39	44,73	47,35	36,77
глюкокортикоиды	4,21	2,49	3,17	2,09	4,78
антиконвульсанты	15,66	17,28	27,49	22,53	16,84

Примечание. Достоверность статистических различий между группами больных: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$. Остальные различия статистически недостоверны.

Таблица 2

Локализация переломов в зависимости от типа психотропной терапии,%

Локализация переломов	Нейролептики		Трициклические антидепрессанты (*n* = 143)	Ингибиторы обратного захвата серотонина (*n* = 122)	Смешанный прием (*n* = 233)
	типичные (*n* = 218)	атипичные (*n* = 98)			
Шейка бедренной кости	65,45*	48,95	37,22	41,18	70,23**
Переломы костей предплечья	16,42*	15,71	11,25	14,22	12,36
Компрессионные переломы позвоночника	9,17	12,36	15,59	17,79*	10,31
Переломы ребер	3,81	2,59	3,99	5,62	4,22
Остальные переломы	5,15*	20,39	31,95	21,19	2,88*

Примечание. Достоверность статистических различий между группами больных: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$. Остальные различия статистически недостоверны.

Обращает на себя внимание большое количество принимаемых препаратов одним пациентом (табл. 1). У больного на терапии нейролептиками оно в среднем составило более 5 наименований различных лекарственных средств. В их число входят барбитураты, седативные, антиконвульсанты, ноотропные препараты и др. Поскольку многие пациенты относятся к старшей возрастной группе и имеют сопутствующую патологию, одновременно принимаются и симптоматические лекарственные средства (гипотензивные, антиаритмические и др.). Среди

препаратов, принимаемых психически больными, многие обладают побочными эффектами, влияющими на состояние костной ткани [4].

Это антиконвульсанты, непрямые антикоагулянты, барбитураты, глюкокортикоиды. Последние назначаются довольно часто (табл. 2) в связи с высокой распространенностью среди психически больных кожно-аллергических заболеваний. Совместный прием этих препаратов с нейролептиками усиливает отрицательное воздействие на метаболизм костной ткани, провоцируя остеокластическую резорбцию [12].

Наличие у каждого второго пациента в анамнезе перенесенной травмы свидетельствует о наличии у этих больных деструктивных процессов в костной ткани [3], (табл. 1).

Средняя суточная доза нейролептика не превышала 250 у.е. и была выше при назначении типичных нейролептиков. Это связано с широким использованием депо-препаратов и более дешевых по стоимости лекарственных средств. В отличие от атипичных нейролептиков типичные чаще вызывают двигательные экстрапирамидные расстройства, которые регистрировались у каждого пятого больного, их принимавшего (табл. 1).

В структуре переломов преобладали травмы проксимального отдела шейки бедренной кости – от 70,23 до 37,22% (табл. 2). Максимальная частота данного вида переломов наблюдалась у больных со смешанным приемом психотропного средства. Возможно, это связано с преобладанием в данной группе больных старшего возраста и с более длительным стажем госпитализации по сравнению с другими группами (табл. 1). Наименьшая частота переломов шейки бедренной кости была выявлена среди больных при монотерапии антидепрессантами. Более половины всех травм пациенты получали непосредственно в стационаре – при потере равновесия, резком вставании, падении с кроватей, лестниц, сопротивлении медперсоналу. Длительный приём психотропных средств приводил к головокружению, гипостатическим обморокам, вялости и сонливости, двигательным нарушениям.

Переломы костей предплечья были вторыми по частоте среди травм всех локализаций (табл. 2) и также происходили при падении больных в стационаре.

Компрессионные переломы позвоночника в основном были связаны с попытками суицида, поэтому регистрировались чаще у больных с депрессивными расстройствами (табл. 1), принимавшими антидепрессанты. Поэтому они диагностировались вместе с другими сочетанными травмами – переломами костей таза, пяточных и костей голени [2].

Многочисленные травмы у психически больных – фактор, отягощающий деятельность психиатрического стационара. Диагностика, лечение и длительная реабилитация этих пациентов увеличивают финансовые затраты и нагрузку на медперсонал. Травмы у психически больных увеличивают показатели больничной летальности, инвалидизации и стоимости медицинской помощи [2]. Лечение некоторых травм (компрессионные переломы позвоночника, шейки бедренной кости) является высокотехнологичным видом медицинской помощи, проводится в специализированных медицинских учреждениях и требует дополнительного финансирования и привлечения высококвалифицированных врачей-специалистов.

Около половины всех травм у психически больных – это остеопоретические переломы, связанные с развитием как сенильного, так и лекарственного остеопороза. Хронический прием психотропных препаратов, имеющих остеопороз-индуцирующий эффект, сниженная инсоляция, однообразная и бедная эссенциальными составляющими диета, отсутствие физических нагрузок,

вредные привычки и низкий индекс массы тела – это факторы, способствующие развитию системного остеопороза.

Изменить статистику основных травм среди психически больных в настоящее время вряд ли представляется возможным. Однако уменьшение частоты остеопоретических переломов среди психически больных в возрасте старше 65 лет, длительно пребывающих в стационаре, возможно за счет разработки и реализации программ по профилактике системного остеопороза.

Профилактика остеопороза в настоящее время является приоритетным направлением здравоохранения большинства стран мирового сообщества. ВОЗ считает необходимой разработку глобальной стратегии контроля заболеваемости остеопорозом, выделяя в качестве главных следующие направления: профилактику, скрининговое обследование, лечение, обучение специалистов здравоохранения. К сожалению, исследователями не представлены комплексные диагностические программы, позволяющие оценить все факторы риска развития остеопороза у психически больных, не предложены меры профилактики и способы фармакоррекции выявленных нарушений. Изучению данных вопросов и посвящена наша дальнейшая исследовательская работа.

Литература

1. *Буланов В.С., Горобец Л.Н., Вяткина В.А.* Коррекция нейроэндокринных дисфункций при длительной терапии рисперидоном фазнопротекающих эндогенных психозов у женщин // Современные проблемы психиатрической эндокринологии: сб. науч. тр. М.: Медицина, 2004. С. 65-77.

2. *Клюквин И.Ю., Охотский В.П., Сувалян А.Г.* Лечение повреждений опорно-двигательного аппарата у больных с психическими расстройствами // Здоровье столицы: IV Московская ассамблея: сб. науч. тр. (15 декабря 2005 г.). М.: Отечество, С. 15-16.

3. *Козлова М.В., Панин А.М., Бурмистров И.В,* Гистоморфометрическая оценка качества альвеолярной кости челюстей у пациентов с остеопеническим синдромом // Стоматология. 2007. Т. 8. С. 573-578.

4. Эндокринология психотропных препаратов / *Г. Лаакман, З. Ерентраут, К. Кун, и др.* // Социальная и клиническая психиатрия. 1998. Т. 8, вып. 2. С. 123-145.

5. *Abel K., Heatlie H., Howard L.* Sex- and age- specific incidence of fractures in mental illness: a historical, population-based cohort study // J. Clin. Psychiatry. 2008. Vol. 69(9). P. 1398-1403.

6. *Bushe C., Yeomans D., Floyd T.* Categorical prevalence and severity of hyperprolactinaemia in two UK cohorts of patients with severe mental illness during treatment with antipsychotics // Psychopharmacology. 2008. № 22. P. 56-62.

7. *Byerly M., Suppes T., Tran Q.* Clinical implications of antipsychotic-induced hyperprolactinaemia in patients with schizophrenia spectrum or bipolar disorders recent developments and current perspectives // J. Clin. Psychopharmacol. 2007. № 27(6). P. 639-661.

8. *Chakkalakal D.* Alcohol-induced bone loss and deficient bone repair // Alcohol Clin. Exp. Res. 2005. № 29. P. 2077-2090.

9. *Korpelainen R., Korpelainen J., Heikkinen J.* Lifelong risk factors for osteoporosis and fractures in elderly women with low body mass index-a population-based study // Bone. 2006. № 39. P. 385-391.

10. *O'Keane V., Meaney A.* Antipsychotic drugs: a new risk factor for osteoporosis in young women with schizophrenia? // J. Clin. Psychopharmacol. 2005. № 25(1). P. 26-31.

11. *O'Keane V.* Antipsychotic-induced hyperprolactinaemia, hypogonadism and osteoporosis in the treatment of schizophrenia // Psychopharmacol. 2008. № 22. P. 70-75.

12. *Vestergaard P.* Fracture risks of antidepressants // Expert Rev. Neurother. 2009. № 9(1). P. 137-141.

МУХАМЕДЖАНОВА ЛЮБОВЬ РУСТЕМОВНА – доктор медицинских наук, профессор кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний и новых технологий, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (lr71@bk.ru).

MUCHAMEDZHANOVA LYUBOV RUSTEMOVNA – doctor of medical science of stomatological diseases and new technology department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ИЛЬИНА РОЗА ЮРЬЕВНА – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, ГБОУ ДПО Казанская государственная медицинская академия, Россия, Казань (ilroza@yandex.ru).

ILYINA ROZA YURYEVNA – candidate of medical sciences, assistant of maxillofacial surgery and surgical stomatology department, Kazan State Medical Academy, Russia, Kazan.

УДК 616.313; 616.31
ББК 56.6

Л.Р. МУХАМЕДЖАНОВА, Р.Ю. ИЛЬИНА

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИМЕФОСФОНА В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА

Ключевые слова: *хронический генерализованный пародонтит, димефосфон, микроэлементы, остеопороз.*

Представлены результаты исследования состояния тканей пародонта и микроэлементного статуса костной ткани альвеолярного отростка у больных хроническим генерализованным пародонтитом при терапии димефосфоном. Выявлены снижение содержания в костной ткани и зубах кальция, меди, цинка и повышение содержания стронция. У всех пациентов выявлена средняя и тяжелая степень хронического генерализованного пародонтита на фоне неудовлетворительной гигиены полости рта. У пациентов, принимавших димефосфон, содержание кальция в кости было достоверно выше, а выраженность кровоточивости десны снижена по сравнению с аналогичными показателями у пациентов, не принимавших димефосфон. Рекомендовано включение данного препарата в комплекс лечения заболеваний пародонта, особенно у пациентов с сопутствующей патологией внутренних органов.

L.R. MUCHAMEDZHANOVA, R.Yu. ILYINA

EFFICIENCY ASSESSMENT DIMEFOSPHONY IN COMPLEX TREATMENT OF THE PERIODONTIUM DESEASE

Key words: *chronic generalized paradontitis, dimefosphony, microelements, osteoporosis.*

A results of the research conditions of paradont and microelement status of bone tissue alveolar process at the patients with chronic generalized paradontitis against reception dimefosphony are reflected in this article. Depression maintenance of the calcium, cuprum, zincum and increase maintenance of the strontium is discovered in bone and teeth. The middle and hard degree of chronic generalized paradontitis is discovered in all patients against unsatisfactory hygiene of oral cavity. Patients treated dimefosphony had more calcium in bone and lower bleeding of gum then patients without it. This medicine are recommended to include in complex therapy of paradontitis especially in patients with chronic illness.

Влияние димефосфона на микроциркуляцию, окислительно-восстановительные процессы в тканях, стимуляцию барьерно-защитных функций кожи и слизистых оболочек позволило использовать его в комплексной терапии ряда стоматологических заболеваний [7].

В ранее проведённых исследованиях было изучено влияние 15%-ного водного раствора димефосфона и минеральной воды «Волжанка» на состояние тканей пародонта пациентов с хроническим катаральным гингивитом. При этом активизировался местный иммунитет с повышением содержания секреторного IgA и титра лизоцима в жидкости ротовой полости [1].

В то же время известно, что димефосфон характеризуется широким спектром биологической активности, отсутствием серьезных побочных эффектов [3, 9]. Он оказывает антирахитическое [5], тиреотимоактивирующее действие [6], повышает уровень кальцитонина, эндогенного кортизола [7], стимулирует процессы регенерации, обладает противовоспалительной, иммуномодулирующей активностью [3, 5, 7].

Выявлен антиостеопоретический эффект димефосфона: продемонстрировано снижение экскреции оксипролина, кальция и неорганического фосфата с мочой на фоне экспериментального остеопороза, вызванного введением преднизолона [5]. При этом нормализуются содержание общего белка, кальция в сыворотке крови, относительная общая плотность трабекул, повышаются до контрольного уровня общая клеточная численность и содержание кальция в костной ткани. Димефосфон рекомендовано применять в виде 18-дневных курсов лечения в суточной дозе 100 мг/кг массы тела внутрь при длительном лечении глюкокортикостероидами [2].

Хронический генерализованный пародонтит протекает на фоне интенсивной резорбции костной ткани, которая часто связана с системным остеопорозом [9, 11, 12]. Современная диагностика и лечение поражений пародонта, развившихся на фоне системного остеопороза, являются весьма актуальными проблемами клинической пародонтологии. Многими исследователями предприняты попытки лечения воспалительно-деструктивных изменений в костной ткани пародонта с использованием местных средств, способствующих стимуляции остеогенеза [11, 13]. Однако проведение только местных мероприятий по коррекции метаболизма костной ткани у больных хроническим генерализованным пародонтитом оказывается недостаточным.

Целью исследования явилось изучение состояния костной ткани и тканей пародонта при хроническом генерализованном пародонтите у пациентов при терапии димефосфоном.

Материалы и методы исследования. Для реализации задачи исследования обследованы 64 пациента (36 мужчин и 28 женщин) в возрасте от 45 до 68 лет (56,8±6,9 года), проходивших лечение по поводу хронического генерализованного пародонтита в ООО «Стоматология» (г. Казань). Все пациенты были ранжированы на две группы – принимавшие в димефосфон более 6 месяцев (1-я группа – 29 чел.) и не принимавшие димефосфон (2-я группа – 35 чел.). Препарат в виде 15%-ного раствора назначался курсами длительностью две недели, по 1 ст. ложке 3 раза в день. В качестве группы сравнения обследовано 15 пациентов с интактным пародонтом (6 мужчин и 9 женщин) в возрасте от 44 до 72 лет (55,6±3,7 года), проходивших плановый санационный курс лечения.

Пациентам обеих групп проводили общепринятый клинический осмотр полости рта с оценкой гигиенического и пародонтологического статуса. Образцы костной ткани в контрольной группе и у больных хроническим генерализованным пародонтитом (ХГП) получали при удалении зубов (скусывали корневыми щипцами острые края лунок зубов, межкорневые и/или межальвеолярные перегородки). Зубы были экстрагированы по санационным показаниям (по поводу обострения хронического периодонтита, хронического генерализованного пародонтита). Содержание микроэлементов в костной ткани и твёрдых тканях зуба определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе СА10 МП в лаборатории Академии наук Республики Татарстан.

У всех обследуемых проводили оценку гигиенического состояния полости рта с помощью индекса Грина–Вермильона [Greene J.S., Vermillion J.R., 1964], который равен сумме показателей зубного налета и зубного камня. Проба Свракова (йодное число Свракова – ЙЧС) применялась для выявления воспалительного процесса в мягких тканях пародонта. При этом 2%-ной настойкой йода окрашивалась маргинальная и альвеолярная часть десны. В зависимости от интенсивности окрашивания пробу оценивали как положительную, слабоположительную или отрицательную. Для определения степени кровоточивости десневой борозды при зондировании зубного сосочка применялся индекса Мюллемана–Коуэлла (ИМК). По наличию или отсутствию кровотечения отмечали степень тяжести воспалительного процесса: легкую, среднюю или тяжелую. Для определения стадии заболевания применялся пародонтальный индекс Рассела (ПИ), учитывающий тяжести гингивита, наличие пародонтальных карманов, подвижность зубов, степень деструкции костной ткани. Состояние пародонта регистрировали возле каждого зуба, отмечали в зависимости от степени воспаления и деструкции костной ткани баллы.

Статистический анализ результатов проводили при помощи программы «SPSS-14 for Windows» с вычислением средней арифметической – *M*, ошибки средней арифметической – *m*. Достоверность данных оценивали с помощью критерия достоверности – *t* (критерий Стьюдента, Ньюмена–Кейсла). Для выяс-

нения зависимости между отдельными показателями применялся корреляционный анализ. Результаты считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. При оценке микроэлементного статуса костной ткани и зубов были выявлены достоверное снижение уровней кальция, цинка и меди у больных ХГП и увеличение содержания стронция (табл. 1).

Таблица 1

Микроэлементный профиль костной ткани альвеолярного отростка в контрольной группе и у больных ХГП, мкг/г

Элементы	Группа сравнения ($N = 15$)		Больные ХГП			
			принимавшие димефосфон ($N = 29$)		не принимавшие димефосфон ($N = 35$)	
	кость	зубы	кость	зубы	кость	зубы
Ca	20 925,35± ±50,44	25 940,66± ±60,25	5885,37± ±109,16*	17 875,56± ±63,81*	13 237,11± ±91,06*▲	16 835,51± ±68,39**
Sr	11,22± ±2,16	13,68± ±0,77	34,19± ±10,35*	46,93± ±9,08*	33,10± ±11,77*	47,33± ±13,98*
Zn	76,57± ±4,15	161,63± ±4,78	52,34± ±2,08*	147,92± ±3,16*	67,12± ±2,94*▲	153,62± ±4,15*
Cu	0,539± ±0,028	50,46± ±2,31	0,278± ±0,012*	24,01± ±0,16*	0,235± ±0,008*	27,11± ±0,13*

Примечание. Достоверность статистических различий между контрольной группой и больными ХГП: * – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$; ▲ – достоверность статистических различий между 1-й и 2-й группами больных ХГП, $p < 0,05$. Остальные различия статистически недостоверны.

Снижение уровня кальция может свидетельствовать о снижении минеральной плотности костной ткани у больных ХГП вследствие развития вторичного лекарственного остеопороза.

Дефицит меди в костной ткани влечёт за собой дефектный синтез коллагена, сопровождающийся ломкостью костей и деформацией скелета [4]. При этом в костной ткани повышается содержание растворимых фракций коллагена, нарушается процесс его продукции и созревания. Также при дефиците меди значительно снижается минеральная плотность костной ткани и усиливается выделение с мочой пиридинолина – маркера деградации коллагена, отражающего интенсивность распада органической матрицы.

Нами выявлена сильная корреляционная зависимость ($p = 0,82$; $p < 0,001$) содержания цинка в костной ткани от длительности течения хронического генерализованного пародонтита (ХГП) (более 10 лет). Известно, что цинк стимулирует активность клеток остеобластной линии, вследствие чего возрастает содержание костного изофермента щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови. Цинк также ингибирует активность остеокластов, предотвращая тем самым остеокластную резорбцию кости. Уровень цинка могут снижать продукты распада тканей, образующихся при деструкции, при ХГП это – деминерализованные цемент корня и альвеолярная кость, грануляционная ткань, экссудат. Дефицит цинка в кости может быть обусловлен и усиленным его потреблением, необходимым для стимуляции деятельности остеобластов, отражающей компенсаторную реакцию кости при прогрессирующем ее распаде [9].

Повышенное содержание стронция у больных ХГП связано с воспалительным процессом в кости. Стронций обладает тропизмом к костной ткани и 90% его «оседает» в губчатой кости [9, 11, 13]. Стронций включается в те же костные кристаллы гидроксиапатитового типа, что и кальций, поэтому активный минеральный обмен в зоне воспаления способствует повышению его концентрации. Литературные данные подтверждают ассоциацию между избыточным накоплением стронция в кости и наличием очагов остеопоретических измене-

ний. При этом избыток стронция вызывает значительные дефекты минерализации. Оптимальное содержание стронция в кости (13,74±0,78 мкг/мг) обеспечивает анаболический эффект, тормозит остеокластическую резорбцию и стимулирует функцию остеобластов [13].

В группе больных, принимавших димефосфон, выявлено достоверно более высокое содержание кальция и меди в костной ткани (табл. 1), по сравнению с группой пациентов, не получавших димефосфон. Костная ткань, по сравнению с зубной тканью, более мобильна. Поэтому кость быстрее реагирует на изменения во внешней среде. Не следует исключать антирезорбтивное действие димефосфона, обладающего мембраностабилизирующими свойствами, улучшающими микроциркуляцию [5, 6]. Возможно, данный эффект стабилизирует остеокласты и препятствует резорбции костной ткани.

Индексная оценка тканей пародонта у больных ХГП выявила следующие результаты: при определении воспаления в десне йодное число Свракова сопоставимо у пациентов контрольной группы и у пациентов со средней и легкой степенью воспаления (табл. 2). У больных ХГП, вне зависимости от лечения димефосфоном, определялись неудовлетворительная гигиена полости рта.

Таблица 2

Значения гигиенического и пародонтальных индексов у больных ХГП и в группе сравнения

Показатели	Группа сравнения (*N* = 15)	Больные ХГП	
		принимавшие димефосфон (*N* = 29)	не принимавшие димефосфон (*N* = 35)
Гигиенический индекс	1,2±0,26	4,7±0,33**	4,1±0,41**
Йодное число Свракова	0,7±0,09	1,1±0,11	2,2±0,14*▲
Индекс Мюллемана–Коуэлла	0,9±0,17	1,5±0,21	1,9±0,19**
Пародонтальный индекс	1,4±0,23	1,72±0,15	1,76±0,26

Примечание. Достоверность статистических различий между контрольной группой и больными ХГП: * – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$. ▲ – достоверность статистических различий между 1-й и 2-й группами больных ХГП, $p < 0,05$. Остальные различия статистически недостоверны.

В контрольной группе и у больных ХГП отмечалось легкое воспаление десны, после зондирования кровоточивость отсутствовала или появлялась позднее в виде отдельных точечных кровоизлияний. У больных ХГП, независимо от приема димефосфона, выявлялась средняя и тяжелая степень воспаления. Кровоточивость десен появлялась у многих во время приема пищи, при зондировании отмечалось заполнение кровью межзубного десневого сосочка, кровотечение не останавливалось в течение нескольких минут.

Оценка пародонтальным индексом выявила в группе сравнения признаки гингивита и начальную степень пародонтита с образованием пародонтального кармана (табл. 2). У больных ХГП чаще встречался тяжелый гингивит с апикальным смещением эпителиального прикрепления. У 15% пациентов определялись тяжелые формы пародонтита с потерей устойчивости зубов, их смещением, с гнойным отделяемым из пародонтальных карманов.

Мы не обнаружили значимой корреляционной зависимости между пародонтальными индексами и микроэлементным составом костной ткани. Снижение индекса кровоточивости Мюллемана–Коуэлла у больных, принимавших димефосфон, может свидетельствовать о положительном эффекте препарата. Известно, что димефосфон угнетает спонтанную агрегацию тромбоцитов и эритроцитов, улучшает реологические свойства циркулирующей крови [5, 6]. Значимое повышение концентрации кальция и меди у пациентов

данной группы также подтверждает теорию о возможном влиянии димефосфона на метаболизм костной ткани.

Выявленные изменения свидетельствуют о хрупкости и порозности костной ткани у больных ХГП, возможно связанное с хроническим воспалением в тканях пародонта. Преобладание остеокластической резорбции при сочетании с нарушениями микроэлементного состава костной ткани приводит к развитию остеопороза челюстных костей. Данное патологическое изменение костной ткани альвеолярного отростка челюстей способствует быстрому распространению воспалительного процесса и разрушению тканей пародонта. Прогрессирование заболевания приводит к потере костной ткани, расшатыванию зубов и раннему их удалению. Положительная динамика, выявленная при лечении димефосфоном, может способствовать снижению активности процесса и восстановлению оптимального баланса костной ткани.

В настоящее время отсутствуют рекомендации и специальные программы комплексного лечения заболеваний пародонта, развившихся на фоне остеопороза. Не уделено должного внимания проблеме оказания стоматологической помощи у данной категории пациентов с учетом развития системного (вторичного) остеопороза. Выявленное в нашем исследовании благоприятное воздействие димефосфона на состояние тканей пародонта и микроэлементный состав костной ткани позволяет рекомендовать включение препарата в комплекс лечебных мероприятий у пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом, имеющих сопутствующую патологию.

Литература

1. *Блашкова С.Л., Гиниятуллин И.И.* Эффективность применения димефосфона в лекарственной форме при лечении хронического гингивита у детей методом ультрафонофореза // Новые методы диагностики и лечения. Казань: Тайп, 1994. С. 215-216.

2. *Бурнашева З.А.* Нарушения минерального обмена при воздействии преднизолоном и его фармакологическая коррекция димефосфоном: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ижевск, 2000. 20 с.

3. *Верещагина В.С.* Исследование некоторых аспектов механизма противоаритмического действия димефосфона и мексидола: автореф. дис. … канд. мед. наук. М., 2002, 22 с.

4. *Вольф Г.Ф., Райтецхак Э.М.* Пародонтология. М.: МЕДпресс-информ, 2008. 548 с.

5. *Зиганшина Л.Е., Бурнашева З.А., Валеева И.Х.* Сравнительное изучение эффективности димефосфона и ксимедона при стероидном остеопорозе у крыс // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2000. Т. 63, № 6. С. 39-42.

6. *Малышев В.Г., Федосейкин И.В.* Влияние димефосфона на гомеостаз организма. М.: Наука, 2007. 215 с.

7. *Малышев В.Г., Федосейкин И.В.* Применение димефосфона в медицине. М.: Наука. 2008. С. 84-85.

8. *Мухамеджанова Л.Р.* Особенности диагностики, клинического течения и лечения генерализованного пародонтита у больных системным (вторичным) остеопорозом: дис. … докт. мед. наук. Казань, 2005.

9. *Мухамеджанова Л.Р., Хуснуллин Н.М.* Рентгеноспектральный анализ костной ткани в клинической стоматологии // Успехи современного естествознания. 2004. № 4. С. 116-117.

10. *Фазылова Ю.В., Хитров В.Ю., Закиров Ф.Х.* Колонизационная резистентность и гуморальные факторы защиты слизистой оболочки полости рта у больных с хроническими воспалительными заболеваниями пародонта // Казанский медицинский журнал. 2007. Т. 88, № 5. С. 463-471.

11. *Megson E., Bartold P.M.* Relationship between periodontal disease and osteoporosis // Int. J. Evid. Based. Healthc. 2010. Vol. 8. P. 129-139.

12. *Sameera G., Ranjith R.* «What is there in a name?»: A literature review on chronic and aggressive periodontitis // J. Indian. Soc. Periodontol. 2011. Vol. 15. P. 318-322.

13. *Vahid E., Mehrnaz S.* Relationship Between Osteoporosis and Periodontal Disease: Review of the Literature // J. Dent. (Tehran). 2012. Vol. 9. P. 256-264.

МУХАМЕДЖАНОВА ЛЮБОВЬ РУСТЕМОВНА. **См. с. 475.**
ИЛЬИНА РОЗА ЮРЬЕВНА. **См. с. 475.**

УДК 617.735-002
ББК 56.7

Н.П. ПАШТАЕВ, И.Н. ГРИГОРЬЕВА

МИКРОИНВАЗИВНАЯ ТРАНСВИТРЕАЛЬНАЯ ФИКСАЦИЯ РАЗРЫВОВ И ОТРЫВОВ СЕТЧАТКИ

Ключевые слова: *отслойка сетчатки, гигантский разрыв, отрыв сетчатки от зубчатой линии.*

Представлен способ микроинвазивной трансвитреальной шовной фиксации сетчатки в комбинации с многорядной эндолазерной коагуляцией по краю разрыва у пациентов с отслойкой сетчатки с ее дефектами на большом протяжении и при множественных хаотично расположенных разрывах. Шовная фиксация упрощает адаптацию оторванного края сетчатки к подлежащим оболочкам. Выполнено гистологическое исследование участков шовной фиксации сетчатки на кадаверных глазах кроликов.

N.P. PASHTAEV, I.N. GRIGORIEVA

MICROINVASIVE TRANSVITREAL FIXATION OF TEARS OF RETINA

Key words: *retinal detachment, giant tear, retinal tear, retinal abruption from ora serrata.*

Method of microinvasive transvitreal sututre fixation of retina combined with multirow endolaser coagulation along tear edge in patients with retinal detachment with its defects extended largely, with multiple chaotically located tears is presented. Suture fixation simplifies adaptation of the torn edge of retina to underlying membranes. Hystologic investigation of the places of suture fixation of cadaver rabbit eyes was undertaken.

Отслойка сетчатки является одной из наиболее тяжелых офтальмологических патологий, приводящих к частичной или полной утрате зрительных функций, при этом 84% больных с данным заболеванием – люди трудоспособного возраста, а ежегодный выход на инвалидность составляет 29% среди всех причин инвалидности по зрению [2].

Использование на современном этапе развития микрохирургической техники витреоретинальных операций многофункциональных витреоретинальных комбайнов, широкоугольных панорамных насадок к операционному микроскопу, технологий 23, 25 и 27 G с минимальным интраоперационным повреждением глаза, жидких и газообразных заменителей стекловидного тела, лазерных пособий, комбинации интравитреального вмешательства с экстрасклеральной хирургией позволяет добиться прилегания сетчатки в 50-98% случаев в зависимости от стадии пролиферативной витреоретинопатии [1, 4, 7, 8]. Однако при разрывах на большом протяжении, при множественных хаотично расположенных разрывах возникают трудности адаптации оторванного края сетчатки к подлежащим оболочкам, поскольку он имеет тенденцию к постоянному скручиванию, при проведении эндотампонады появляется риск попадания тампонирующего вещества под сетчатку через имеющиеся разрывы в процессе операции либо в послеоперационном периоде, а хориоретинальная спайка, созданная методом лазеркоагуляции или криопексии, зачастую оказывается недостаточной [1, 4]. Для фиксации оторванного края сетчатки предлагались различные способы. Ретинальный шов, применяемый для дополнительной механической фиксации, надежно удерживает сетчатку и обеспечивает формирование хориоретинальной спайки, что доказывается отсутствием разблокирования зоны разрыва, фиксированного швом, во всех случаях рецидивов отслойки [5]. В связи с тем, что в предложенных ранее методах отечественных и мировых авторов шовная фиксация осуществляется ab externo, т.е. со стороны склеры, что вызывает затруднения при локализации и проецировании края дефекта сетчатки на поверхность склеры, отсутствует непосредственный визуальный контроль за сетчаткой в зоне разрыва в момент ее подшивания, отслоенная сетчатка при этом может отойти от подлежащих оболочек, что может спровоцировать появление дополнительных разрывов и затекание ПФОС под сетчатку, актуальным остается вопрос создания и

усовершенствования способа трансвитреальной микроинвазивной фиксации краев ретинального дефекта при угрозе попадания тампонирующего вещества под сетчатку интраоперационно [5, 6].

Цель исследования – оценка отдаленных результатов применения микроинвазивной трансвитреальной фиксации краев ретинальных дефектов в комбинации с эндолазерной коагуляцией при хирургии осложненной отслойки сетчатки.

Материалы и методы исследования. С целью оценки безопасности разработанной нами технологии на структуры заднего сегмента глаза было выполнено экспериментальное исследование на 3 кроликах (6 глаз) породы шиншилла. Кроликам проведена микроинвазивная трансвитреальная шовная фиксация интактной сетчатки. Животные выведены из эксперимента через 3 и 6 месяцев после операции. После энуклеации выкраивался комплекс склера-хориоидеа-сетчатка на месте шва, фиксировался в 10%-ном растворе нейтрального формалина с последующим приготовлением парафиновых срезов и окраской гематоксилин-эозином. Препараты изучали под микроскопом при 400-кратном увеличении. Гистологическое исследование проведено на базе КУ «Республиканское бюро судебно-медицинской экспертизы».

В клинике с применением предлагаемой методики к настоящему времени прооперировано 15 глаз (15 пациентов в возрасте от 7 до 63 лет), срок наблюдения от 3 месяцев до 2,5 года.

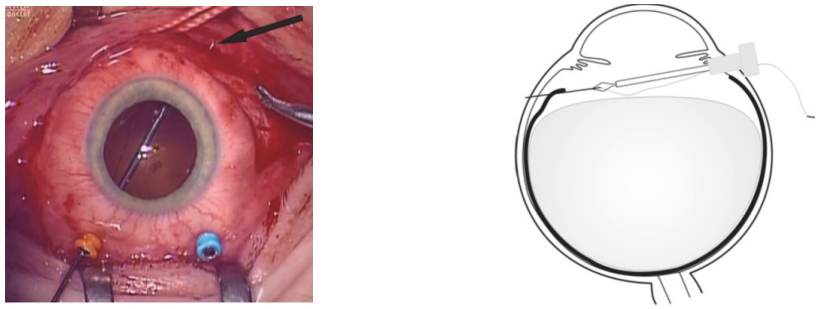
Для оценки результатов до и после операции пациентам выполнялись такие стандартные и специальные методы исследования, как прямая и обратная офтальмоскопия, периметрия, электрофизиологические исследования (порог электрической чувствительности и электрической лабильности зрительного нерва – фосфен-тестер «Диагност», Россия; ЭРГ – Medelek OS5 Neuropto, Англия), FCM-лазерная тиндалеметрия для определения воспалительной реакции глаза на операцию (FC-2000 «Kowa», Япония), оптическая когерентная томография сетчатки (RTVue OPTOVue 100/CA, США), а также фоторегистрация глазного дна (CX-1 Digital Retinal Camera, Canon) и видеорегистрация оперативного вмешательства.

Всем пациентам производилась субтотальная трехпортовая витрэктомия 25, 23 G на витреоретинальных комбайнах «Accurus» или «Constellation». После мобилизации сетчатки производились ее расправление и адаптация с помощью перфторорганического соединения. При возникновении трудностей адаптации край ретинального дефекта дополнительно механически фиксировался к подлежащим оболочкам П-образными трансретиносклеральными швами, проведенными ab interno.

Для осуществления предлагаемой технологии мы использовали две прямые атравматические иглы с насечками (ООО «Микрохирургия глаза» и «Контур», Чебоксары, Россия), исключающими самопроизвольный возврат иглы внутрь полости стекловидного тела после прокола склеры, и специально разработанный микроиглодержатель (Казанский медико-инструментальный завод ООО «Микрохирургические инструменты», Россия), имеющий на внутренней поверхности обеих бранш центральное углубление в виде бороздки с насечками, благодаря чему исключаются ротация и выскальзывание иглы при проведении ее через ткани глаза, а размеры микроиглодержателя и надежно зафиксированной им иглы позволяют осуществить применение данной технологии через стандартный склеротомический порт 25, 23 G.

Методика фиксации: при помощи вышеописанного цангового микроиглодержателя 25 G через стандартный склеротомический порт 23 G под контролем эндоосветителя и широкоугольной оптической системы в полость стекловидного тела вводили прямую иглу. Ab interno производили трансретиносклеральный прокол по краю ретинального дефекта с выводом иглы на наружную поверхность

предварительно освобожденной от конъюнктивы склеры (рис. 1). Далее тем же микроиглодержателем захватывали вторую иглу этой же непрерывной нити и вводили через тот же склеротомический порт. Осуществляли ab interno второй трансретиносклеральный прокол по другому краю дефекта сетчатки, отступя 2-3 мм от первого вкола. Концы нити связывали узлом на наружной поверхности склеры. Таким образом, в месте разрыва сетчатки получали П-образный шов, фиксирующий сетчатку к подлежащей хориодее [3]. В зависимости от протяженности ретинального дефекта данным способом выполняется от 1 до 3 П-образных швов. Шовную фиксацию дополняли эндолазеркоагуляцией сетчатки по краю отрыва и вокруг наложенных швов. В последующем перфторорганическое соединение замещали в основном на газовую или, как исключение, на силиконовую тампонаду.



а *б*

Рис. 1. Этап трансретиносклерального прокола по краю ретинального дефекта с выводом иглы на наружную поверхность предварительно освобожденной от конъюнктивы склеры: *а* – фото этапа операции (стрелкой указана игла); *б* – схема шовной фиксации на сагиттальном разрезе глазного яблока

Результаты исследования и их обсуждение. На гистологических срезах кадаверных глаз кроликов сетчатка во всех отделах оставалась интактной: отсутствовали признаки повреждения фоторецепторов и других нейронов, толщина слоев не была нарушена, отека и пролиферативных процессов не выявлено (рис. 2).

Оперативное вмешательство и послеоперационный период у пациентов с применением трансвитреальной шовной фиксации во всех случаях протекали без осложнений. Кровотечения из мест прокола были незначительными. В 2 случаях при верхней локализации разрывов применение методики было затруднительно из-за отсутствия комфортного доступа к имеющимся дефектам сетчатки. На двух глазах после удаления ПФОС вторым этапом проведена тампонада полости стекловидного тела силиконовым маслом, на двух глазах после рассасывания газа возникла частичная отслойка сетчатки, по поводу чего выполнена ревизия витреальной полости с тампонадой силиконовым маслом. При этом разблокирование зоны разрыва в месте фиксации швом не наблюдалось. Через 3 месяца силикон удален – сетчатка

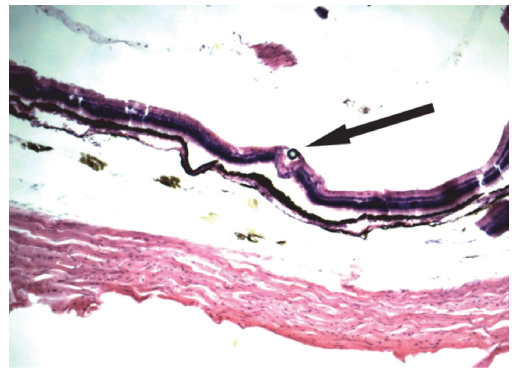


Рис. 2. Гистологическая картина сетчатки кролика на месте шовной фиксации через 6 месяцев после операции. Стрелкой указана нить, фиксирующая сетчатку

прилежит. В одном случае не удалось уложить сетчатку из-за выраженного преретинального и субретинального фиброза. В 14 случаях достигнуто анатомическое прилегание сетчатки. При контрольных осмотрах признаков дополнительной пролиферации в области шовной фиксации не наблюдалось.

Благодаря шовной фиксации края отрыва удается добиться хорошей адаптации краев дефекта сетчатки со сближением краев разрыва и механической фиксации сетчатки к сосудистой оболочке, что в последующем приводит к образованию прочной хориоретинальной спайки. В связи с тем, что применение предлагаемой технологии возможно через малые разрезы (порт 25, 23 калибра) вмешательство проводится с малой травматичностью, что уменьшает риск развития интра- и послеоперационных осложнений в отличие от ранее предложенных методик, когда для фиксации использовались различные приспособления (гвозди, магнитные системы, устройства в виде пары микрохирургических игл), вводившиеся в витреальную полость через большой несамогерметизирующийся склеральный разрез. Большой склеральный разрез может провоцировать дополнительную травматизацию цилиарного тела, риск развития кровотечения, усиление потоков воды в витреальной полости с потерей внутриглазной жидкости, развитием гипотонии глазного яблока и смещением к ране отслоенной сетчатки, что может привести к появлению ее дополнительных разрывов. Методика микроинвазивной трансвитреальной шовной фиксации позволяет улучшить анатомические результаты хирургического лечения отслоек сетчатки при минимизации операционной травмы и максимальном сбережении ретинальной ткани.

Выводы. Микроинвазивная трансвитреальная шовная фиксация является дополнительным способом фиксации краев ретинальных разрывов и отрывов, способствует интраоперационной адаптации сетчатки, что препятствует попаданию под сетчатку тампонирующих веществ через ее разрывы во время операции, и долгосрочной фиксации к подлежащей хориоидее до момента формирования прочной хориоретинальной спайки в местах нарушения ее целостности.

Литература

1. *Казайкин В.Н.* Тампонада витреальной полости силиконовым маслом в комплексном лечении отслойки сетчатки: дис. … докт. мед. наук. М., 2009. 277 с.

2. Офтальмология: национальное руководство / под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 944 с.

3. *Паштаев Н.П., Григорьева И.Н.* Первый опыт применения микроинвазивной шовной фиксации гигантских разрывов и отрывов сетчатки // Офтальмохирургия. 2012. № 1. С. 58-61.

4. *Тахчиди Х.П., Захаров В.Д.* Хирургия сетчатки и стекловидного тела. М.: Офтальмология, 2011. 188 с.

5. *Тахчиди Х.П., Казайкин В.Н.* Значение механической фиксации сетчатки в лечении гигантских ретинальных разрывов при использовании тампонады жидкими заместителями стекловидного тела // Офтальмохирургия. 2001. № 1. С. 29-35.

6. *Charles S., Calzada J., Wood B.* Vitreous Microsurgery. 4th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2011. 259 p.

7. *Kunikata H., Nishida K.* Visual outcome and complications of 25-gauge vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment; 84 consecutive cases // Eye (Lond). 2010. № 24(6). P. 1071-1077.

8. *Williamson T.H.* Vitreoretinal Surgery. L.: Springer; Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 227 p.

ПАШТАЕВ НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, директор, Чебоксарский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С.Н. Федорова» Минздрава России; заведующий кафедрой офтальмологии и отоларингологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (prmntk@chtts.ru).

PASHTAEV NIKOLAY PETROVICH – doctor of medical sciences, professor, director, Fyodorov Eye Surgery Complex in Cheboksary, head of Ophthalmology and Otolaryngology Chair, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

ГРИГОРЬЕВА ИРИНА НИКОЛАЕВНА – врач-офтальмолог первой квалификационной категории, Чебоксарский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Россия, Чебоксары (prmntk@chtts.ru).

GRIGORIEVA IRINA NIKOLAEVNA – doctor-ophthalmologist of the first qualification category, Fyodorov Eye Surgery Complex in Cheboksary, Russia, Cheboksary.

УДК 617.735
ББК 56.7

Н.П. ПАШТАЕВ, О.Г. МАКАРОВА

КЛЕТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ДЕГЕНЕРАЦИЯХ СЕТЧАТКИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Ключевые слова: *дегенерация сетчатки, стволовые клетки.*

Дегенеративные заболевания сетчатки занимают одно из ведущих мест в глазной патологии; несмотря на многочисленные методы лечения, они остаются одной из основных причин слабовидения и слепоты. На сегодняшний день разработаны комплексные методы лечения хориоретинальных дистрофий, включающие в себя медикаментозные, лазерные, хирургические и физиотерапевтические. Все эти методы направлены на улучшение микроциркуляции и обменных процессов в сетчатке и хориоидее. Такое разнообразие методов лечения хориоретинальных дистрофий свидетельствует об их недостаточной эффективности. В этой связи на сегодняшний день представляется актуальным дальнейший поиск новых способов лечения дистрофических заболеваний сетчатки. Одним из перспективных и наиболее широко обсуждаемых в доступной литературе направлений развития хирургических технологий являются изучение и применение стволовых клеток. Результаты экспериментальных исследований по применению стволовых клеток в различных областях хирургии многообещающие и позволяют рассчитывать на прорыв в лечении заболеваний сетчатки.

N.P. PASHTAEV, O.G. MAKAROVA

CELL TECHNOLOGIES IN CASE OF RETINA DEGENERATIONS. LITERATURE REVIEW

Key words: *retina degeneration, stem cells.*

Degenerative diseases of retina occupy one of leading places in eye pathology; in spite of multiple methods of treatment they remain one of the main reasons of weak sightedness and blindness. Recently complex methods of treatment of chorioretinal dystrophies are worked out, they can be medical, laser, surgical and physiotherapeutic. All these methods are directed to improvement of micro circulation and metabolic processes in retina and choroid. Such variety of treatment methods of chorioretinal dystrophies evidence about their insufficient efficacy. So further search of new ways of treatment of retinal dystrophic diseases is actual nowadays. Study and use of stem cells is one of perspective and most widely discussed trends of surgical technologies development in available literature. Results of experimental investigations in stem cells use in different areas of surgery is highly promising and allows to count on break in retina diseases' treatment.

Дегенеративные поражения сетчатки как одна из основных причин инвалидности населения. На сегодняшний день одной из актуальных проблем офтальмологии является прогрессирующее увеличение заболеваний заднего отрезка глаза. По данным экспертов ВОЗ, в будущем дистрофические заболевания сетчатки будут являться одними из наиболее часто встречающихся заболеваний людей пожилого и старческого возраста и станут главной причиной слабовидения и слепоты. В России первичная инвалидность вследствие заболеваний сетчатки составляет 15-25% и занимает 4-5-е место по частоте среди глазной патологии. Патология заднего отрезка глаза – дистрофии различного генеза, посттравматические изменения, поражение сетчатки при общих заболеваниях – группа наиболее трудно поддающихся лечению нозологий, для которых характерны снижение обменных и восстановительных процессов, нарушение микроциркуляции, нарушение структурной организации сетчатки и, как следствие, значительное нарушение зрительных функций [4]. В развитых странах одним из наиболее распространенных офтальмологических заболеваний среди лиц старше 65 лет считается центральная инволюционная хориоретинальная дистрофия как основная причина необратимой потери зрения. Она встречается в 45,9% случаев и является, таким образом, самой распространенной формой поражения центральной зоны глазного дна. По данным различных авторов, склеротическая макулодистрофия встречается у 40% па-

циентов в возрасте старше 50 лет. Хориоретинальная дистрофия при высокой близорукости является второй причиной инвалидности по зрению. Посттравматические ретинопатии приводят к снижению зрения преимущественно лиц молодого трудоспособного возраста [9].

Серьезность и практическая значимость этой проблемы обусловлены также и тем, что офтальмологическая наука не располагает достаточно эффективными способами лечения тяжелых органических изменений в сетчатке при неэкссудативных формах ее дегенеративных заболеваний. На сегодняшний день арсенал лечебных мероприятий включает в себя медикаментозную терапию с использованием препаратов, защищающих ткани глаза, укрепляющих сосудистую стенку, блокирующих свободные радикалы кислорода (антиоксиданты), возникающие при нарушении окислительно-восстановительных процессов, которое всегда сопровождает развитие дегенерации сетчатки и часто представляет одно из главных звеньев ее патогенеза [9]. Большинство авторов признает, что консервативная терапия эффективна лишь на ранних стадиях процесса, и результаты ее нестабильны. Новые возможности в лечении заболеваний заднего отрезка глаза появились с применением лазерного лечения, комбинированных методов, сочетающих медикаментозное, реваскуляризирующее и метаболическое воздействия на пораженные ткани [4]. Однако в настоящее время ни один из предложенных методов лечения, включая и хирургические, не оказал значительного влияния на снижение слепоты, вызванной патологией заднего отрезка глаза.

Из вышеизложенного следует актуальность разработки новых более эффективных методов стимуляции репаративно-регенерационных процессов в сетчатке с целью восстановления ее структурной организации и функциональной активности.

Клеточные технологии как метод восстановления структуры и функции тканевых дефектов. Одним из современных и перспективных направлений в биологии и клинической медицине на сегодняшний день является изучение методов восстановления структуры и функции тканевых дефектов, в том числе и в сетчатке, с помощью клеточных технологий [17, 20, 25, 26, 28]. Клеточная терапия – это комплекс медицинских приемов, основанных на использовании живых клеток и направленных на восстановление утраченной или нарушенной функции различных органов и тканей. Особое место в клеточной терапии принадлежит стволовым клеткам. Стволовые клетки – это уникальные клеточные популяции, способные к самовозобновлению и дифференцировке в различные клеточные типы [1, 8, 11]. В отличие от других клеток организма, выполняющих строго определенные функции, СК остаются недифференцированными и обладают возможностью в ходе развития дифференцироваться в специализированные клетки. Из стволовой клетки могут возникнуть кожные, нервные, клетки крови и др. Механизмы действия СК условно можно разделить на неспецифические и специфические [10]. Неспецифические сводятся, как правило, к активации процессов регенерации, репарации и дифференцировки путем воздействия ключевых метаболитов (цитокинов, антиоксидантов, тканевых гормонов, пептидов, стимулирующих иммунокомпетентные клетки), секреции высокого уровня нейротрофических факторов и/или воспалительных модуляторов [24]. Специфические механизмы подразумевают замену поврежденных клеток и компенсацию их функций. Так, в нервной системе благодаря высокой способности к миграции и встраиванию в различные области мозга реципиента нейрональные СК восполняют тем самым дефицитные специфические пулы нейрональных и глиальных клеток [10].

По происхождению и источнику выделения СК можно разделить на стволовые клетки эмбриона и тканей плода, а также стволовые клетки взрослого организма (региональные или соматические) [6-8]. При повреждении тканей соответствующего органа находящиеся в нем СК мигрируют к зоне повреждения, де-

лятся и дифференцируются, образуя в этом месте новую ткань. По способности к дифференцировке выделяют тотипотентные, плюрипотентные, мультипотентные и унипотентные СК. Оплодотворенную яйцеклетку, зиготу, называют также тотипотентной СК (от лат. «totus» – полный, единый). Эта единственная клетка воспроизводит все органы эмбриона и необходимые для его развития структуры – плаценту и пуповину. Термин «плюрипотентный» используют для описания клетки, которая может быть источником клеток, производных любого из 3 зародышевых листков. Мультипотентные СК способны образовывать специализированные клетки нескольких типов (например, клетки крови, клетки печени). Унипотентные СК – это клетки, дифференцирующиеся в обычных условиях только в специализированные клетки определенного типа. Эмбриональные СК способны дифференцироваться в клетки многих типов (т.е. являются плюрипотентными), в то время как региональные СК дифференцируются в ограниченное число клеточных типов (т.е. мультипотентны или унипотентны) [15].

Основными источниками стволовых клеток являются костный мозг, периферическая кровь, жировая ткань, а также пуповинная кровь. Трансплантация гемопоэтических стволовых клеток пуповинной крови развивается поразительными темпами, если учесть, что первая такая операция выполнена в октябре 1988 г. в США. Реципиентом стал 6-летний мальчик, страдавший анемией Фанкони, которому ввели кровь его сестры. Пациент жил и хорошо себя чувствовал даже через 16 лет после трансплантации. Эта трансплантация, как и все последующие трансплантации при анемии Фанкони, хроническом миелолейкозе и других злокачественных и незлокачественных заболеваниях, выполнена с HLA-совместимыми клетками близких родственников [14].

Характерной особенностью полученных из пуповинной крови стволовых клеток является их значительно большее, чем у взрослых стволовых клеток, сходство с клетками из эмбриональных тканей по таким параметрам, как биологический возраст и способность к размножению. Пуповинная кровь, полученная из плаценты сразу после рождения ребенка, богата стволовыми клетками с большими пролиферативными возможностями, чем у клеток, полученных из костного мозга или периферической крови. Данный источник стволовых клеток имеет ряд преимуществ: 1) гемопоэтические стволовые клетки из пуповинной крови обладают большим пролиферативным потенциалом по сравнению с клетками из костного мозга [1, 2, 14]; 2) Т-лимфоциты пуповинной крови функционально незрелые, что снижает вероятность и тяжесть реакции «трансплантат против хозяина» [11]; 3) подбор и получение необходимого для трансплантации образца происходит гораздо быстрее, чем подбор донора костного мозга; 4) при неродственной трансплантации менее строгие требования к совместимости по HLA; 5) процедура сбора пуповинной крови безболезненна и безопасна для донора; 6) низкая вероятность контаминации такими латентными вирусами, как цитомегаловирус и вирус Эпштейна–Барра. В научных публикациях последних лет имеются доказанные сведения о благоприятном воздействии полипотентных гемопоэтических стволовых клеток в клинике при инфаркте миокарда, инсульте головного мозга [16], нейротравмах спинного мозга и т.д. Механизмы участия гемопоэтических СК в процессах восстановительной регенерации широко обсуждаются в литературе [19].

Экспериментальные работы с применением различных видов стволовых клеток в офтальмологии. Экспериментальные работы, связанные с применением различных видов стволовых клеток в офтальмологии, показали их эффективность при разнообразных заболеваниях сетчатки.

Проводимые экспериментальные работы еще в 1980-х гг. показали успешность трансплантации эмбриональной или ранней постнатальной сетчатки в сетчатку взрослых млекопитающих. На основе полученных данных утверждает-

ся, что трансплантаты растут, дифференцируются, формируют все клеточные типы и слои нормальной сетчатки. Имплантированная ткань интегрируется с сетчаткой реципиента, и при длительном воздействии появляется возможность установления морфологических контактов с первичными зрительными центрами. Трансплантированная ткань слабодифференцированной сетчатки выделяет трофические вещества, которые активизируют компенсаторные процессы в поврежденных клетках сетчатки реципиента, избавляя от дегенерации [25].

Кроме эмбриональных стволовых клеток применяются стромальные стволовые клетки (костного мозга) [23]. Была доказана эффективность использования данных стволовых клеток для дифференцировки в фоторецепторы с экспрессией специфических маркеров. При определенной подготовке мезенхимальные стволовые клетки костного мозга могут быть трансплантированы RCS-крысам, и, встраиваясь в сетчатку реципиента, они дифференцируются в зрелые нейроны, выделяя характерные маркеры (виментин, калбидин, родопсин, GFAP).

В работе сотрудников отдела травматологии и реконструктивной хирургии Московского НИИ глазных болезней имени Гельмгольца МЗ РФ доказаны безопасность и эффективность интравитреальной, ретробульбарной и супрахориоидальной трансплантации нейральных стволовых/прогениторных клеток в условиях эксперимента. Авторами на основе результатов комплексных клинических, электроретинографических и гистологических исследований было показано, что супрахориоидальное введение нейрональных СК и мезенхимальных СК в разработанных дозах оказывает нейропротекторное воздействие, наиболее выраженное для функции фоторецепторов и клеток Мюллера после моделирования лазерного повреждения сетчатки кроликов и ретинальной ишемии. На отдаленных сроках трансплантация стволовых клеток способствует ускорению процесса восстановления функции сетчатки [5].

В 2010 г. опубликована экспериментальная работа по оценке влияния различных типов стволовых/прогениторных клеток на морфофункциональное состояние сетчатки. Эксперименты проводились на крысах линии Campbell – одном из существующих штаммов животных с пигментной дегенерацией сетчатки. В супрахориоидальное пространство опытных глаз крыс вводили различные типы стволовых/прогениторных клеток (нейрональные клетки, клетки пигментного эпителия, клетки цилиарного тела). На основании данных электроретинографических и иммуногистохимических методов исследования было показано, что фетальные клетки пигментного эпителия при супрахориоидальном способе введения оказывают выраженное стабилизирующее влияние на процессы дегенерации сетчатки и способствуют сохранению ее функциональной активности на высоком уровне. Нейрональные клетки и клетки цилиарного тела оказывают слабоположительный эффект на морфофункциональное состояние сетчатки крыс линии Campbell [3].

Многочисленные исследования по изучению эффективности и безопасности применения стволовых клеток при различных дегенеративных заболеваниях сетчатки описаны также в зарубежной литературе [21, 23].

В совместной работе Moran Eye Center, University of Utah Health Science Center и Eye Institute, Oregon Health & Sciences University (2006 г.) показано, что стволовые клетки могут быть использованы для восстановления зрения. Прогрессирующую дегенерацию фоторецепторов сетчатки моделировали на грызунах. Сравнивали эффективность введения в субретинальное пространство человеческих стволовых клеток 3 типов, выделенных из пуповинной крови, из плаценты и мезенхимальных стволовых клеток (контролем служили фибробласты кожи). На протяжении эксперимента многократно измеряли остроту зрения (spatial acuity), порог яркости (luminance threshold) и показатели электроретинограммы. Было показано, что СК пуповинной крови и мезенхимальные СК значительно

снижали уровень функционального расстройства, тогда как эффект плацентарных клеток был немногим лучше контроля. Наибольшее число фоторецепторов сохранялось в результате введения СК пуповинной крови. Нежелательных побочных эффектов (например, образования опухолей) не отмечалось [18].

Также проведено немало экспериментальных работ по изучению субретинальной трансплантации эмбриональных стволовых клеток на животных моделях дегенерации сетчатки [27, 29, 30]. Так, группой ученых из University of Washington на основе данных электроретинограммы доказана эффективность применения эмбриональных стволовых клеток при их интравитреальном и субретинальном введении. Мышам двух групп были введены стволовые клетки в дозе 50-80 тыс. кл. Наблюдения проводились в течение от 1 до 6 недель. Также было показано, что при интравитреальном введении клетки мигрировали в слой ганглиозных клеток, внутренний ядерный и наружный ядерный слои сетчатки. При введении же в субретинальное пространство клетки концентрировались в наружном ядерном слое в области трансплантации [22].

Учеными из University of Wisconsin-Madison (2007 г.) была выполнена работа на крысах с использованием нейральных клеток-предшественников, полученных из человеческих фетальных стволовых клеток. Было показано, что клеточная терапия может сохранить зрение животных, страдающих дегенеративными глазными заболеваниями, встречающимися у людей (например, макулярной дегенерацией сетчатки). Стволовые нервные клетки, формирующие головной мозг на ранних стадиях эмбрионального развития, способствовали сохранению зрения животных с дегенеративным поражением сетчатки. Использованные в данном исследовании фетальные нервные стволовые клетки, по словам руководителя работы, оказались наиболее безопасными, анатомически и функционально соответствующими поставленной цели. Было показано, что эти клетки не дифференцируются в клетки сетчатки, но защищают их от гибели, выделяя определенные факторы роста. Видимо, ключевую роль играет нейротрофический фактор глиальных клеток (glial cell line-derived neurotrophic factor (GDNF)) [24]. Нейральные клетки-предшественники, выделяющие GDNF, были использованы и в экспериментах по лечению болезни Паркинсона. В этих опытах также был доказан нейропротективный эффект этого типа клеток. Интересно, что нервные клетки-предшественники, показавшие наилучший результат по сохранению зрения, были взяты из области эмбрионального мозга, не имеющей отношения к зрению. Тем не менее они выживали после трансплантации в глаз и не нарушали его работы, вступая, видимо, в симбиотические отношения с клетками сетчатки.

Опыт клинического применения клеточных технологий в офтальмологии. В клинической практике в рамках программы внедрения инновационных медицинских технологий группой сотрудников лаборатории инновационных биомедицинских технологий разработан и зарегистрирован в Российском авторском обществе комплекс биомедицинских технологий «Клеточные технологии в офтальмологии». Метод основан на комбинированной высокотехнологичной офтальмологической операции, включающей забор тканей костного мозга, выделение и культивирование мезенхимальных стволовых клеток костного мозга, а также микрохирургическую операцию с трансплантацией клеточного материала. 12 пациентам в возрасте от 20 до 68 лет с пигментной дегенерацией сетчатки и атрофией зрительного нерва различного генеза с остротой зрения от 0,01 до 0,1 была проведена микрохирургическая операция по трансплантации 10 млн аутологичных мезенхимальных стволовых клеток костного мозга ретробульбарно и в субтеноновое пространство обоих глаз. Эффективность трансплантации оценивали раз в месяц в течение полугода. В период наблюдения у пациентов не было выявлено никаких осложнений, в то же время

улучшение остроты зрения по сравнению с исходным составило от 0,05 до 0,7, соответственно [12, 13].

Представляя настоящие сведения о стволовых клетках и возможном их применении в офтальмологической практике, мы полагаем, что данное направление в офтальмологии перспективно, но требует дополнительных исследований.

Литература

1. Биологические основы и перспективы терапии стволовыми клетками / *Е.Б. Владимирская, О.А. Майорова, С.А. Румянцев и др*. М.: Медпрактика-М, 2005. С. 41-113.
2. *Бочков Н.П.* Клеточная терапия в свете доказательной медицины // Клиническая медицина. 2006. № 10. С. 4-10.
3. Влияние стволовых/прогениторных клеток на функциональное состояние и степень выраженности дегенеративных изменений сетчатки у крыс линии Campbell / *Х.П. Тахчиди, Н.А. Гаврилова, О.Ю. Комова и др.* // Офтальмохирургия. 2010. № 3. С. 33-38.
4. *Горбунов А.В., Осокина Ю.Ю.* Современная тактика лечения дистрофических заболеваний сетчатки у пациентов старшей возрастной группы // Успехи геронтологии. 2010. № 4. С. 636-643.
5. *Гундорова Р.А., Ченцова Е.В.* Клеточные технологии в офтальмологии: 10-летний опыт экспериментальных исследований и перспективы в клинике // Российский офтальмологический журнал. 2008. Т. 1, № 1. С. 45-49.
6. *Иванов А.А.* Перспективы применения стволовых клеток в медицине. Биология стволовых клеток и клеточные технологии / под ред. М.А. Пальцева. М.: Медицина; Шико, 2009. Т. 1. С. 31-43.
7. Нейральная стволовая клетка: биология и перспективы трансплантации в офтальмологии / *Е.В.Ченцова, Н.В. Пак, Г.Г. Петриашвили и др.* // Новое в офтальмологии. 2001. № 1. С. 31-37.
8. *Никольский Н.Н., Габай И.А., Сомова Н.В.* Эмбриональные стволовые клетки человека проблемы и перспективы // Цитология. 2007. Т. 49, № 7. С. 529-537.
9. Офтальмология: национальное руководство / под ред. С.Э. Аветисова и др. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2008. 944 с.
10. *Пак Н.В.* Влияние трансплантации нейральных стволовых клеток на процессы регенерации сетчатки в эксперименте: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2004. 26 с.
11. *Пальцев М.А., Терских В.В., Васильев А.В.* Что есть стволовая клетка. Биология стволовых клеток и клеточные технологии. М.: Медицина; Шико, 2009. Т. 1. С. 13-24.
12. Пат. 2467730 РФ, С2 МПК A61F 9/00, A61K 35/28, A61K 38/17, A61P 37/02. Способ комплексного патогенетического лечения центральных и периферических тапеторетинальных дистрофий с применением клеточных технологий / авт. и патентобл.: Ромащенко А.Д., Ковалев А.В. № 2011101671/14; заявл. 19.01.2011 г.; опубл. 27.07.2012 г., Бюл. № 33. 8 с.
13. Пат. 2428956 РФ, С2 МПК A61F 9/00, A61K 35/28, A61P 27/00, A61P 25/02, A61M 25/00. Способ лечения атрофии зрительного нерва посредством трансплантации аутологичных стволовых клеток авт. и патентобл.: Ромащенко А.Д., Ковалев А.В. № 2009126627/14; заявл. 13.07.2009 г.; опубл. 20.01.2011 г., Бюл. № 2. 7 с.
14. *Смолянинов А.Б., Обрезан А.Г., Адылов Ш.Ф.* Гемопоэтические стволовые клетки и преимущества трансплантации пуповинной крови // Медицина XXI век. 2008. № 3 (12). С. 20-22.
15. Стволовые клетки в современной медицине: настоящее и будущее / М.А. *Пальцев, А.А. Иванов, В.Н. Смирнов и др.* // Молекулярная медицина. 2006. № 2. С. 5-9.
16. Bone marrow as a source of endothelial cells and NeuN-expressing cells After stroke / *D.C. Hess, W.D. Hill, A. Martin-Studdard et al.* // Stroke. 2002. Vol. 33, № 5. P. 1362-1368.
17. *Bull N.D., Martin K.R.* Concise Review: Toward Stem Cell-Based Therapies for Retinal Neurodegenerative Diseases // Stem Cells. 2011. Vol. 29, № 8. P. 1170–1175.
18. Cells isolated from umbilical cord tissue rescue photoreceptors and visual functions in a rodent model of retinal disease / *R.D. Lund, S. Wang, B. Lu et al.* // Stem Cells. 2007 Vol. 25, № 3. P. 602-611.
19. Fusion of bone-marrow-derived cells with Purkinje neurons, cardiomyocytes and hepatocytes / *M. Alvarez-Dolado, R. Pardal, J.M. Garcia-Verdugo et al.* // Nature. 2003. Vol. 425, № 10. P. 968-973.
20. *Huang Y., Enzmann V., Suzanne T.I.* Stem Cell-Based Therapeutic Applications in Retinal Degenerative // Stem Cell Reviews and Reports. 2011. Vol. 7, № 2. P. 434-445.
21. Human embryonic stem cell-derived cells rescue visual function in dystrophic RCS rats / *R.D. Lund, S. Wang, I. Klimanskaya et al.* // Cloning Stem Cells. 2006. Vol. 8, № 3. P. 189-199.
22. *Lamba D.A., Gust J., Reh T.A.* Transplantation of human embryonic stem cell-derived photoreceptors restores some visual function in Crx-deficient mice // Cell Stem Cell. 2009. Vol. 4, № 1. P. 73-79.
23. Long-term safety and function of RPE from human embryonic stem cells in preclinical models of macular degeneration / *Lu B., Malcuit C., Wang S. et al.* // Stem Cells. 2009. Vol. 27, № 9. P. 2126-2135.
24. Neurosphere-derived multipotent precursors promote neuroprotection by an immunomodulatory mechanism / *S. Pluchino, L. Zanotti, B. Rossi et al.* // Nature. 2005. Vol.436, № 7. P. 266-271.
25. *Paul S.B., Gary C.B.* Stem-cell therapy in retinal disease // Current Opinion in Ophthalmology. 2009. Vol. 20, № 3. P. 175-181.
26. Photoreceptor transplantation in retinitis pigmentosa: short-term follow-up / *A.S. Berger, T.H. Tezel, L.V. Priore et al.* // Ophthalmology. 2003. Vol. 110, № 2. P. 383-391.

27. Preservation of outer retina and its synaptic connectivity following subretinal injections of human RPE cells in the Royal College of Surgeons rat / *I. Pinilla, N. Cuenca, Y. Sauve et al.* // Exp. Eye Res. 2007. Vol. 85, № 3. P. 381-392.

28. *Strauer B.E , Kornowski R.* Stem cell therapy in perspective // Circulation. 2003. Vol. 107, № 7. P. 929-934.

29. Subretinal Transplantation of Brain-derived Precursor Cells to Young RCS Rats Promotes Photoreceptor Cell Survival / A.B. *Wojciechowski, U. Englund, C. Lundberg et al.* // Exp. Eye Res. 2002. Vol. 75, № 1. P. 23-37.

30. Subretinal transplantation of mouse retinal progenitor cells / *C. Jiang, M. Zhang, H. Klassen et al.* // Neural Regeneration Research. 2011. Vol. 6, № 7. P. 1222-1230.

ПАШТАЕВ НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ. См. с. 484.

МАКАРОВА ОЛЬГА ГЕННАДЬЕВНА – врач-офтальмолог, Чебоксарский филиал ФГБУ «МНТК "Микрохирургия глаза" имени акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Россия, Чебоксары (prmntk@chtts.ru).

MAKAROVA OLGA GENNADYEVNA – doctor-ophthalmologist, Fyodorov Eye Surgery Complex in Cheboksary, Russia.

УДК 616.155.194–053.2
ББК 54.11–57.33

В.А. РОДИОНОВ, М.С. АГАНДЕЕВА

РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ АНЕМИЙ У ДЕТЕЙ ГОРОДА ЧЕБОКСАРЫ

Ключевые слова: *распространённость, заболеваемость, анемия, дети.*

Представлены данные о распространённости, половой и возрастной структурах заболеваемости, клинических особенностях течения анемического синдрома у детей г. Чебоксары. Общая распространённость анемий среди детского населения г. Чебоксары составляет 150,3‰. Частота анемий среди детей раннего возраста существенно превосходит таковую по сравнению с другими возрастными группами, что требует контроля над эпидемиологией данного состояния и проведения соответствующих профилактических мероприятий.

V.A. RODIONOV, M.S. AGANDEEVA

THE PREVALENCE OF ANEMIA IN CHILDREN IN THE CITY OF CHEBOKSARY

Key words: *prevalence, morbidity, anemia, children.*

The article presents data on the prevalence, sex and age structure of the incidence, clinical features of the current anemic syndrome in children in the city of Cheboksary. The overall prevalence of anemia among children of Cheboksary is 150,3‰. The frequency of anemia among young children significantly exceeds that in comparison to other age groups, which requires monitoring of the epidemiology of this condition and conduct of appropriate preventive measures.

Проблема распространённости анемий является актуальной для врачей всех специальностей. Анемии являются самой распространенной патологией в мире. Анемией называется клинико-гематологический синдром, характеризующийся снижением уровня гемоглобина и количества эритроцитов в единице объёма крови. Причинами развития анемий могут служить самые разнообразные патологические процессы и их сочетания: кровопотеря, недостаточное образование эритроцитов или их усиленное разрушение (гемолиз). Анемический синдром нередко встречается при соматической патологии: заболеваниях желудочно-кишечного тракта, почек, лёгких, диффузных заболеваниях соединительной ткани [2]. Для диагностики анемий применяют критерии ВОЗ (табл. 1) [9, 11].

Анемический синдром крайне неблагоприятно влияет на организм человека, что обусловлено развитием процессов гипоксемии и гипоксии. Особенно опасны проявления анемий у детей различных возрастов. У детей раннего возраста происходят нарушение когнитивных функций, задержка развития речи, двигательных навыков, координации движения. У детей школьного возраста отмечаются задержка роста и умственного развития, обеднение эмоциональной сферы с преобладанием плохого настроения, вялости, плаксивости, раздражительно-

сти, повышается утомляемость, значительно падает способность к концентрации внимания, что приводит к снижению успеваемости в школе. Анемические состояния увеличивают вероятность инфекционных заболеваний у детей в любом возрасте, поскольку оказывают неблагоприятное воздействие на ряд механизмов иммунной системы, снижая иммунологическую реактивность организма [6, 8].

Таблица 1

Критерии скрининг-диагностики анемий по ВОЗ [по 9, 11]

Группы населения	Уровень гемоглобина венозной крови на высоте уровня моря, г/л
Дети в возрасте 6-59 месяцев	ниже 110
Дети в возрасте 5-11 лет	ниже 115
Дети в возрасте 12-14 лет	ниже 120
Небеременные женщины (15 лет и старше)	ниже 120
Беременные женщины	ниже 110
Мужчины (15 лет и старше)	ниже 130

За последние годы хорошо изучена клиническая картина, уточнены вопросы патогенеза, разработаны доступные методы диагностики и лечения больных с различными видами анемического синдрома. Однако до настоящего времени нет четких представлений относительно распространённости анемических состояний. Эпидемиологические исследования позволяют изучить заболеваемость на основании расчёта соответствующих показателей, проследить за её динамикой в течение ряда лет. Анализ эпидемиологических показателей не только имеет самостоятельное значение, повышая уровень знаний о заболеваемости, но и позволяет усовершенствовать диагностические мероприятия, обосновать объём специализированной помощи больным, прогнозировать лечебный процесс [1].

По мнению экспертов ВОЗ, с точки зрения значимости для общественного здравоохранения распространенность анемий в популяции может быть слабой от 5 до 19,9%, умеренной от 20 до 39,9% и значительной – 40% и более. Это положение также обосновывает важность проведения эпидемиологических исследований по изучению распространённости анемии в различных странах и регионах. При распространённости анемий более 40% проблема перестаёт быть только медицинской и требует принятия мер на государственном уровне [9, 11].

Проблема распространенности анемических состояний в мире изучена недостаточно. По данным ВОЗ, в 1993-2005 гг. анемиям были подвержены 1,62 млрд человек, что составляет 24,8% населения Земли (табл. 2). При этом распространенность анемий как симптома другого заболевания гораздо выше, т.е. анемии являются одной из самых частых групп заболеваний на планете [9].

Таблица 2

Распространённость анемии в мире (1993–2005 гг.) [по 9]

Группа населения	Распространённость анемии		Группа населения, подверженная анемии	
	%	95%-ный доверительный интервал CI	млн	95%-ный доверительный интервал CI
Дети дошкольного возраста	47,4	45,7 – 49,1	293	283 – 303
Дети школьного возраста	25,4	19,9 – 30,9	305	238 – 303
Беременные женщины	41,8	39,9 – 43,8	56	54 -59
Небеременные женщины	30,2	28,7 – 31,6	468	446 – 491
Лица мужского пола	12,7	8,6 – 16,9	260	175 – 345
Пожилые	23,9	18,3 – 29,4	164	126 – 202
Всё население	24,8	22,9 – 26,7	1620	1500 – 1740

Наибольшая распространённость, по данным ВОЗ, отмечается в группе дошкольников – 47,4%. Заболеваемость анемией у детей школьного возраста почти в два раза ниже – около 25,4%. Эпидемиологические исследования ане-

мических состояний у детей выявили неравномерную частоту встречаемости данной патологии в различных странах и её зависимость от социальных и экономических условий. Именно поэтому эксперты ВОЗ рассматривают распространенность анемий, предварительно разделяя страны на промышленно развитые и развивающиеся в экономическом отношении (табл. 3) [9, 11].

Распространённость анемического синдрома среди детей от 0 до 5 лет в промышленно развитых странах Европы и Америки колеблется в пределах от 3 до 10% (рис. 1) [9].

Наивысшая степень распространенности анемий в мире отмечается в Центрально-Азиатских республиках бывшего СССР, где снижение уровня гемоглобина в крови отмечается более чем у половины детей до 3 лет. Следует, однако, отметить, что лишь малая часть случаев заболевания относится к анемии тяжелой степени (уровень гемоглобина ниже 70 г/л). На Украине распространенность анемического синдрома среди различных возрастных групп детей составляет от 24 до 41,5%, в Республике Беларусь – 12,2-33,3% [10].

Таблица 3

Распространённость анемий среди детей в мире [по 9, 11]

Группы населения	Промышленно развитые страны	Развивающиеся страны
Дети от 0 до 5 лет	20,1%	39%
Дети от 6 до 14 лет	5,9%	48,1%

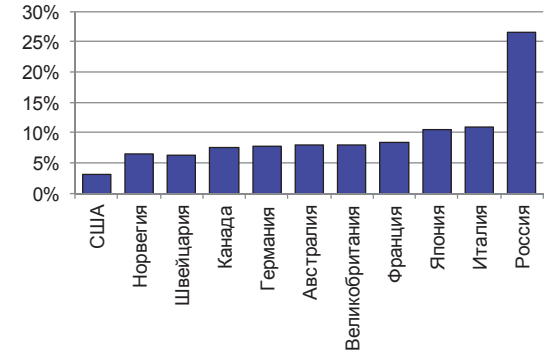


Рис. 1. Распространённость анемии среди детей в промышленно развитых странах Европы и Америки [по 9]

В связи с отсутствием эпидемиологических исследований анемий в большинстве регионов России нет возможности аргументированно обосновать средний показатель распространённости данной патологии в нашей стране. Анализ распространённости анемий среди детского населения России проводился лишь по статистическим материалам Министерства здравоохранения и социального развития РФ, которые учитывают заболеваемость по обращаемости. Согласно этим данным, ежегодно среди населения РФ регистрируется около 1 млн 360 тыс. случаев заболеваний анемиями, из которых более 50% среди детей 0-18 лет. В многолетней динамике с 1992 по 2006 г. наблюдается выраженная негативная тенденция роста заболеваемости аннемиями всего населения страны, ежегодный темп прироста составляет 6,6%. При этом уровни и темпы роста анемизации детского населения выше – 8,8%. Только с 2003 г. ситуация с заболеваемостью анемией несколько стабилизировалась [5].

По данным Н.В. Резановой и др., общая заболеваемость детей 0-17 лет анемиями в 88 регионах России в период 2001–2005 гг. составила 2266,9±358,8 на 100 тыс. детского населения. Распределение заболеваемости по регионам Российской Федерации крайне неравномерно. Наибольший уровень заболеваемости детей анемией отмечался в национальных республиках: Республике Дагестан, Ингушетии, Башкортостане (11 194; 11 169,9 и 6539,7 на 100 тыс. детского населения, соответственно). Наименьший уровень заболеваемости зарегистрирован в развитых в социально-экономическом отношении субъектах

федерации, расположенных в основном в европейской части России: Москве и Санкт-Петербурге, Калининградской, Московской, Ростовской, Тульской, Нижегородской областях, Ставропольском и Приморском краях.

Достоверные данные о распространённости анемий в Приволжском федеральном округе отсутствуют. Эпидемиологические исследования анемического синдрома проводились лишь в отдельных субъектах ПФО, их результаты соответствовали средним показателям распространенности анемического синдрома у детей по России в целом. Так, например, в Самарской области распространённость анемии на 100 тыс. детского населения у детей в 2005 г. составила 2835,97, в 2008 г. – 2438,05 [3], в Пермском крае – 2570 в 2006 г., 2890 – в 2011 г. [4].

Отсутствие работ по распространённости анемического синдрома среди детского населения г. Чебоксары и Чувашской Республики определяет актуальность проводимого исследования.

Целью исследования явилось изучение распространённости и клинических особенностей течения анемического синдрома у детей различных возрастных групп, проживающих в г. Чебоксары.

Материалы и методы исследования. Нами проанализировано 3394 истории развития детей (форма 112/У) от 6 месяцев до 18 лет, наблюдаемых в поликлиниках г. Чебоксары. В соответствии с критериями ВОЗ классические гематологические признаки анемии были выявлены у 517 детей во всех возрастных группах. Таким образом, распространённость анемического синдрома у детей г. Чебоксары составила 150,3‰. При этом чаще всего анемические состояния регистрировались у детей раннего возраста. Частота анемического синдрома у детей первого года жизни составила – 358,2‰, у детей второго и третьего года жизни – 340‰. Значительно реже анемия встречалась у детей дошкольного и младшего школьного возраста по 30‰. Распространённость анемических состояний среди подростков составила 10‰ (рис. 2).

Результаты исследования и их обсуждение. В группе детей первого года жизни половых различий по заболеваемости анемиями не выявлено. Анемический синдром встречается в 51% случаев у мальчиков и 49% случаев у девочек. У большинства обследованных детей в данной возрастной группе зарегистрирована нормохромия эритроцитов при анемии в 81,5%. Гипохромная анемия выявлена у 18,5%. Лишь у 2% детей выявлена анемия средней степени тяжести, у большинства отмечалась лёгкая степень анемии. Тяжёлая степень заболевания не зарегистрирована. При исследовании морфологии эритроцитов выявлено, что анизоцитоз встречается в 32,5% случаев, пойкилоцитоз – в 5,4%.

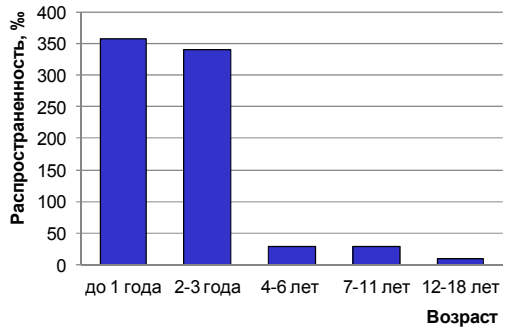


Рис. 2. Распространённость анемического синдрома в различных возрастных группах детского населения г. Чебоксары

Ведущими причинами развития анемического синдрома у детей первого года жизни в 23% случаев являются нарушения питания. В структуре сопутствующей патологии ведущее место занимают заболевания центральной нервной системы – 45,5%.

При изучении распространённости анемии у детей второго-

третьего года жизни выявлено, что мальчики болеют несколько чаще. Распространённость анемического синдрома у мальчиков составляет 57%, у девочек – 43%. Гипохромные анемии в данной группе встречались в 53% случаев, нормохромные – в 47%. Все случаи анемических состояний у детей второго-третьего года жизни соответствовали лёгкой степени тяжести. Наиболее частая сопутствующая патология в данной возрастной группе – это патология нервной системы, хронические очаги инфекции и частые простудные заболевания.

При анализе половой структуры анемических состояний у детей дошкольного возраста выявлено, что анемия у мальчиков встречается почти в 2 раза чаще, чем у девочек, – 63% и 37%, соответственно. В 80 % случаев анемия носила нормохромный, в 20% – гипохромный характер. Уровень гемоглобина у всех детей данной группы соответствовал анемическому синдрому лёгкой степени тяжести. Выявлено, что наиболее частой сопутствующей патологией у дошкольников с анемическим синдромом являются хронические очаги инфекции в 37,5%, заболевания нервной системы – в 31,3%, патология со стороны желудочно-кишечного тракта – в 12,5% случаев.

В группе детей младшего школьного возраста анемические состояния преобладают у девочек (63% случаев). Гипохромная анемия зарегистрирована у 12,5%, нормохромная – у 87,5% детей данной возрастной группы. Так же, как и в других возрастных группах, в большинстве случаев анемический синдром у младших школьников соответствовал лёгкой степени тяжести. В структуре сопутствующей патологии доминировали хронические заболевания желудочно-кишечного тракта – 30%, хронические очаги инфекции – 25% и патология нервной системы – 25%.

Среди детей старшего школьного возраста выявлена наименьшая распространённость анемического синдрома по сравнению с другими возрастными группами – 10 на 1000 детского населения. Наиболее подвержены развитию анемических состояний в данном возрасте – девочки (72,5% случаев). Гипохромные анемии встречались в 14% случаев, нормохромные – в 86%. У всех обследованных старших школьников отмечалась лёгкая степень анемического синдрома. В этой возрастной группе выявлено доминирование хронических заболеваний желудочно-кишечного тракта в структуре сопутствующей патологии – 32,1%.

Выводы. Нами изучена распространённость анемического синдрома у детей г. Чебоксары, выявлены возрастные и половые особенности распространения и клинические особенности его течения. Общая распространённость анемических состояний среди детского населения г. Чебоксары составляет 150,3‰. Частота анемии среди детей раннего возраста существенно превосходит таковую по сравнению с другими возрастными группами. Отличия в распространённости анемического синдрома у детей различных возрастов, возможно, обусловлены анатомо-физиологическими особенностями детского организма в определённые возрастные периоды, различным пищевым поведением и уровнем физической активности. Не выявлено значимых различий в распространенности анемического синдрома среди мальчиков и девочек до трёх лет. В группе детей дошкольного возраста анемия чаще встречается у мальчиков, в школьном возрасте – у девочек (рис. 3).

Уровень снижения гемоглобина в большинстве случаев соответствовал анемии легкой степени тяжести во всех возрастных группах, что, вероятно,

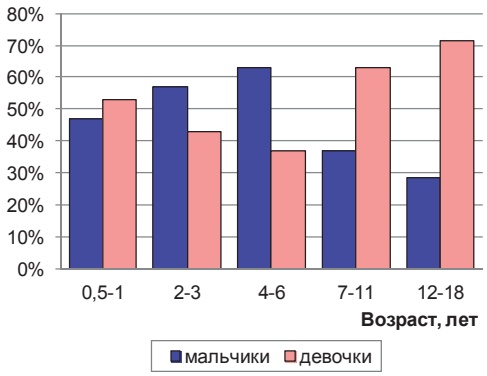


Рис. 3. Распределение заболеваемости анемией по половому признаку у детей г. Чебоксары в различные возрастные периоды

объясняется благоприятными социально-экономическими условиями в городе. В структуре анемического синдрома преобладала нормохромная анемия у детей во всех возрастных периодах, кроме детей второго и третьего года жизни, что, возможно, свидетельствует о полиэтиологическом характере анемических состояний. Высокая частота анемий у детей раннего возраста в г. Чебоксары требует контроля над эпидемиологией данного состояния и проведения соответствующих профилактических мероприятий.

Литература

1. *Бескровная О.Л.* Клинико-эпидемиологическая характеристика апластических и гемолитических анемий у детей и подростков Приморского края: автореф. дис. … канд. мед. наук. Владивосток, 2004. 24 с.

2. *Воробьёв П.А.* Анемический синдром в клинической практике. М.: Ньюдиамед, 2001. 168 с.

3. *Кудрина Н.В., Афанасьева Н.Ю.* Мониторинг качества и безопасности пищевых продуктов и здоровья населения в Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1(6). С. 1564-1566.

4. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Пермском крае в 2011 году: государственный доклад. Пермь: Управление Роспотребнадзора по Пермскому краю ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2012. 272 с.

5. *Резанова Н.В., Гудикова Ж.В., Боровский И.В.* Региональные аспекты формирования заболеваемости анемиями детского населения России // Сибирский медицинский журнал. 2008. № 4. С. 67-70.

6. *Румянцев А.Г., Казюкова Т.В.* Профилактика дефицита железа у детей раннего возраста // Трудный пациент. 2007. № 2, т. 5. С. 38-42.

7. *Сарсания С.И., Тихомиров А.Л., Ночевкин Е.В., Тускаев К.С.* Нюансы диагностики и лечения железодефицитной анемии // Трудный пациент. 2012. № 2-3. С. 23-34.

8. *Тарасова И.С.* Железодефицитная анемия у детей и подростков // Вопросы современной педиатрии. 2011. № 10 (2). С. 40-48.

9. *De Benoist B., McLean E., Egli I., Cogswell M.* Worldwide prevalence of anaemia 1993-2005: WHO global database on anaemia. Geneva: World Health Organization, 2008. 48 p.

10. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva: World Health Organization, 1998.

12. Iron deficiency anemia assessment, prevention and control. A guid for programme managers. Geneva: World Health Organization, 2008.

РОДИОНОВ ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой педиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vladimirodionov@yandex.ru).

RODIONOV VLADIMIR ANATOLEVICH – doctor of medical sciences, head of Pediatrics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АГАНДЕЕВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА – ассистент кафедры педиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (mstikhonenko@yandex.ru).

AGANDEEVA MARIA SERGEEVNA – assistant of Pediatrics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.12-009.72: 615.849: 612.227.3: 612.15
ББК Р410.14-54-43

М.Ю. САПОЖНИКОВ, А.А. САПОЖНИКОВА,
С.Ю. САПОЖНИКОВА, Е.В. СОФРОНОВА

ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И ЭЛАСТИЧНОСТИ СОСУДИСТОЙ СТЕНКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА

Ключевые слова: *функция внешнего дыхания, ишемическая болезнь сердца, эластичность сосудистой стенки, лазерная терапия.*

Изучены изменения показателей функции внешнего дыхания и эластичности сосудистой стенки у больных ишемической болезнью сердца. Разработан метод лазерной терапии, использование которого позволило добиться улучшения всех параметров респираторной функции и улучшения эластичности сосудистой стенки.

**M.Yu. SAPOZHNIKOV, A.A. SAPOZHNIKOVA,
S.Yu. SAPOZHNIKOVA, E.V. SOFRONOVA**

CHANGES RESPIRATORY FUNCTION AND VASCULAR WALL ELASTICITY UNDER MAGNITNOLAZERNOY THERAPY IN PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE

Key words: *lung function, coronary heart disease, the elasticity of the vascular wall, lazer therapy.*

The changes of lung function and vascular wall elasticity in patients with coronary heart disease. Developed a method of laser therapy, the use of which led to the improvement of all parameters of respiratory function and improve the elasticity of the vascular wall.

В настоящее время ведется активный поиск способов коррекции развивающихся изменений функции бронхолегочного аппарата, вызванных применением бета-адреноблокаторами (БАБ), системным воспалением, интерстициальным отеком легких и т.д. у больных ишемической болезнью сердца (ИБС).

В этой связи одним из прогрессивных и успешно развивающихся в последнее время направлений медицинской практики, в том числе и кардиологической, стала лазерная терапия (ЛТ).

Несмотря на многочисленные упоминания в литературе о развитии нарушений функции внешнего дыхания (ФВД) при длительном применении даже кардиоселективных БАБ, особенно в больших дозах, остается неизученной частота развития этих нарушений. Кроме того, несмотря на доказанные противовоспалительный [14], регенераторный [15], иммуномодулирующий [13], антиоксидантный, обезболивающий [10, 12] и другие эффекты лазерного излучения, в литературе нет упоминаний о возможности его использования для устранения нарушений ФВД у больных ИБС.

Цель исследования – изучить состояние функции внешнего дыхания и скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) у больных ИБС и их динамику под влиянием ЛТ.

Материалы и методы исследования. Всего обследовано 407 больных ИБС, в том числе 291 (71,5%) мужчина в возрасте от 45 до 76 лет (средний возраст 60,9±1,82 года) и 116 (28,5%) женщин в возрасте от 46 до 70 лет (средний возраст 57,2±2,33 года). Средний возраст обследованных больных в целом по группе составил 59,1±1,54 года. У 256 пациентов (62%) было выявлено нарушение ФВД. Критерием диагностики нарушений ФВД служило стойкое снижение $ОФВ_1$<90% от должной величины при снижении $МОС_{25}$ и $МОС_{50}$, выявленные при двух и более обследованиях. Группа больных с нарушениями ФВД методом случайной выборки была разделена на 2 подгруппы: основную (104 человека), в которой все пациенты в дополнение к медикаментозной терапии получали 10-дневный курс ЛТ, и группу сравнения (56 человек), в которой все пациенты продолжали базисное медикаментозное лечение (табл. 1).

Таблица 1

Распределение обследованных больных по полу и возрасту

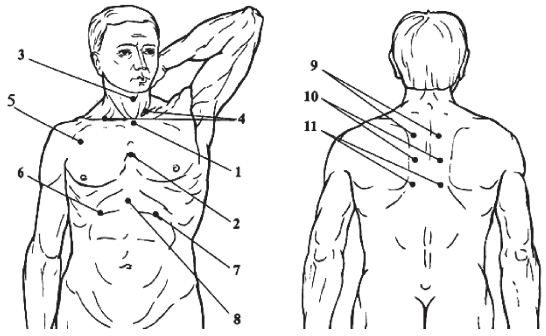
Группа	Пол	Количество		Средний возраст, годы	
		абс.	%		
Основная (*n* = 104)	мужчины	76	73,1	60,5±1,74	59,7±0,00
	женщины	28	26,9	57,5±2,20	
Сравнения (*n* = 56)	мужчины	38	67,9	61,3±1,89	59,1±0,1
	женщины	18	32,1	56,9±2,45	

У 52 больных ИБС, в том числе 40 основной группы и 12 группы сравнения, изучена СРПВ по сосудам мышечного и эластического типа. Больные обеих групп были сопоставимы по полу, возрасту, тяжести заболевания, сопутствующей патологии и проводимой медикаментозной терапии.

Исследование ФВД определяли на спирографе FlowScreen (Erich Jaeger) с автоматической обработкой всех параметров.

Исследование СРПВ проводилось по стандартной методике на поликардиографе Mingograf-34 (Siemens-Elema).

При лечении пациентов основной группы проводили ЛТ с помощью аппарата «РИКТА®-04/4» ЗАО «МИЛТА-ПКП ГИТ» (г. Москва) в соответствии с методическими рекомендациями (Ю.Б. Хейфец, 2004). Воздействие лазерным излучением осуществляли на точки (зоны, проекции органов) контактно установленным излучателем (рисунок). Порядок цифр на рисунке соответствует последовательности установки излучателя при проведении сеанса лечения. Общее время сеанса не превышало 30-35 мин, и зоны, дублирующие друг друга, повторно не обрабатывались. Продолжительность курса лечения составила 10 процедур (сеансов), которые проводились ежедневно, преимущественно в одно и то же время.



Зоны воздействия

Полученные результаты подвергли статистическому анализу. Определяли среднюю арифметическую (*M*), среднее квадратическое отклонение (δ), среднюю ошибку средней арифметической (*m*), относительные величины (*p*, %) и их ошибки (*p*±*mp*). О достоверности различий между средними величинами судили по *t*-критерию Стьюдента. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. При изучении состояния ФВД у 407 больных ИБС, находящихся на длительной базисной терапии, у 256 (63%) зарегистрировано снижение большинства параметров. Наибольшие отклонения от должных величин имели показатели $МОС_{25}$, $МОС_{50}$ и ПОС, свидетельствующие о нарушениях бронхиальной проходимости при форсированном дыхании.

У здоровых лиц в возрасте от 46 до 73 лет (средний возраст 59,5±0,3), которые составили контрольную группу в количестве 21 человека, нарушения ФВД не были зарегистрированы. На фоне терапии БАБ при динамическом наблюдении выявлено статистически значимое снижение всех показателей ФВД, которое имело тенденцию к дальнейшему прогрессированию в зависимости от длительности приема БАБ. Так, например, при динамическом наблюдении до 6 и более лет все без исключения параметры значительно снизились. Наиболее выраженному снижению подверглись $ОФВ_1$ ($p < 0,01$), ПОС ($p < 0,001$), $МОС_{50}$, $МОС_{25}$ ($p < 0,05$). Стоит обратить внимание на то, что значения некоторых показателей в интервале от 1 до 3 месяцев лечения БАБ увеличились. Так, ПОС возросла не-

значительно, а ФЖЕЛ существенно, ($p < 0,001$), что может свидетельствовать о гиперфункции респираторной системы в ответ на повышение сопротивления дыхательных путей.

Таким образом, у всех обследованных больных ИБС в момент обращения в клинику мы выявили стойкое нарушение ФВД, преимущественно по обструктивному типу. Можно предположить, что эти изменения усугубляли течение основного заболевания, усиливая гипоксию, что требовало проведения коррекции терапии.

В результате ЛТ 104 больных ИБС основной группы зарегистрировали статистически значимое улучшение всех параметров респираторной функции (табл. 2). При обследовании ФВД у 10 больных ИБС через 6 месяцев достигнутый положительный эффект ЛТ сохранялся.

Таблица 2

Динамика показателей ФВД у больных основной группы и группы сравнения

Показатели ФВД, % от должных	Основная группа ($n = 104$)		Группа сравнения ($n = 56$)	
	до ЛТ	после ЛТ	I обследование	II обследование
ЖЕЛ	71,9±3,0	76,3±5,0*	69,7±2,3	70,4±2,9
ФЖЕЛ	76,8±2,4	84,3±5,3*	77,7±2,6	76,5±2,4
$ОФВ_1$	72,5±2,3	81,8±5,2*	68,5±3,1	66,2±3,1
ИТ	95,1±3,1	91,9±5,1*	92,8±3,6	89,6±5,3
ПОС	67,6±4,6	72,7±5,6*	72,7±5,2	65,3±3,2
$МОС_{50}$	54,6±5,4	62,9±6,3*	58,8±4,9	60,1±4,2
$МОС_{25}$	45,3±8,1	51,1±6,7*	49,7±4,8	47,4±6,9
$СОС_{25-75}$	53,9±5,5	60,6±5,7*	52,1±5,4	51,2±7,6

Примечание. * – $p < 0,001$.

В результате курса ЛТ у больных основной группы СРВП достоверно уменьшилась по сосудам мышечного типа с 874,7±77,8 до 763,54±70,2 м/с ($p < 0,001$), по сосудам эластического типа – с 637,4±45,1 до 575,6±52,6 м/с ($p < 0,01$). В группе сравнения существенные изменения СРПВ в процессе наблюдения не были зарегистрированы.

Таким образом, неинвазивная ЛТ на фоне базисного лечения наряду с улучшением эластичности сосудов существенно повысила функциональное состояние бронхолегочного аппарата пациентов.

В XXI в. проблема лечения ИБС остается актуальной во всем мире. У половины больных ИБС впервые манифестирует в форме стенокардии, частота которой составляет в среднем 30-40 тыс. больных на 1 млн населения [2, 5].

При лечении стабильных форм ИБС используются модификация факторов риска, инвазивные вмешательства и фармакотерапия. Одно из ведущих мест среди фармакологических средств занимают БАБ. Доказанная способность увеличивать продолжительность жизни и наличие выраженной противоишемической активности – важнейшее обстоятельство, определяющее современные позиции БАБ в лечении ИБС.

Однако использование БАБ нередко становится невозможным из-за наличия противопоказаний или развития нежелательных явлений, таких, как ухудшение ФВД.

Нарушения ФВД при ИБС объясняются наличием недостаточности кровообращения [11], скоплением жидкости в интерстициальной ткани, застоем в легочных сосудах, отеком слизистой оболочки бронхов, избыточной секрецией бронхиальных желез, пассивным сдавлением мелких бронхов внесосудистой жидкостью [1], системным воспалением, развивающемся при ИБС и ХСН, респираторной и тканевой гипоксией, приводящей к нарушению легочной перфузии и альвеолярной гиповентиляции [8].

В доступной нам литературе мы не встретили исследований, в которых бы использовалась ЛТ для улучшения состояние ФВД больных ИБС вообще и на фоне базисной терапии в частности. В связи с этим нами была поставлена цель изучить возможность применения ЛТ для коррекции состояния ФВД при ИБС.

В исследовании Л.И. Козловой (2001), наблюдавшей в течение 12 лет 111 больных ИБС (32 из которых не получали БАБ) без сопутствующих заболеваний легких, зарегистрировано снижение ФВД.

В нашем исследовании при изучении динамики ФВД у 293 больных, длительно принимавших БАБ в составе базисной терапии, также выявлены значительные изменения основных показателей. Перед назначением БАБ у 71 больного ИБС было выявлено снижение $МОС_{25}$ и $МОС_{50}$, составившее 61,8±7,0% ($p < 0,05$) и 74,4±5,9% ($p < 0,05$) от расчетных величин, соответственно.

Таким образом, при исследовании ФВД 293 больных ИБС зарегистрированы изменения основных параметров, в большей степени выраженные на фоне длительной терапии БАБ, что перекликается с результатами исследований Л.И. Козловой (2001–2002).

В связи с этим приобретает очень большое значение разработка методов немедикаментозной коррекции прогрессирующей бронхиальной обструкции у пациентов с ИБС. С этой целью нами использована ЛТ с помощью аппарата «РИКТА» путем облучения зон проекции крупных сосудов, сердца, легких, рефлексогенных околопозвоночных зон.

В результате 10-дневного курса ЛТ 104 больных ИБС зарегистрировано статистически значимое улучшение всех параметров респираторной функции.

Подтверждением сказанному является улучшение эластичности как мышечного, так и эластического типов артерий по результатам теста СРПВ.

Полученные результаты перекликаются с данными Е.Л. Соловьевой (2006), которая установила аналогичный эффект при проведении лазерной рефлексотерапии больным ИБС с помощью гелий-неонового лазерного излучения. В современной кардиологии СРПВ считается независимым предиктором прогноза заболевания. Повышение СРПВ ассоциируется с повышением смертности при ИБС [8]. Вопрос о механизме подобного явления до конца не ясен. Несомненно, положительную роль в снижении СРПВ могли сыграть такие эффекты ЛТ, как гипотензивный, гиполипидемический, нормализация микроциркуляции, восстановление уровня эндогенного NO и др., которые считаются доказанными.

Таким образом, при изучении состояния функции внешнего дыхания у больных ИБС в нашем исследовании выявлено ухудшение всех параметров, особенно выраженное у пациентов, длительно получающих БАБ в составе базисной терапии. Степень снижения респираторной функции нарастала с увеличением длительности терапии БАБ. Неинвазивная ЛТ на фоне базисного лечения наряду с улучшением эластичности сосудов существенно повысила функциональное состояние бронхолегочного аппарата пациентов, поэтому она должна быть включена в комплексную терапию ИБС.

Выводы. 1. У 63% больных ИБС регистрируется стойкое снижение основных параметров функции внешнего дыхания, преимущественно по обструктивному типу.

2. ЛТ путем облучения зон проекции крупных сосудов, сердца, легких, околопозвоночных рефлексогенных зон, являясь дополнительным средством комплексного лечения больных ИБС, улучшает состояние всех параметров функции внешнего дыхания на фоне длительного приема бета-адреноблокаторов. Достигнутый положительный эффект сохраняется в течение 6 месяцев.

3. ЛТ способствует улучшению эластических свойств сосудов мышечного типа на 23%, эластического типа – на 10%, в среднем – на 7%.

Литература

1. *Воробьев Л.П., Бусарова Г.А.* Легочной шунт и пути воздействия на него при некоторых заболеваниях внутренних органов // Пульмонология. 1994. № 1. С. 69-74.

2. *Карпов Ю.А., Буза В.В.* Ивабрадин как новая составляющая эффективного лечения больных стабильной стенокардией // Сердце. 2006. Т. 5, № 29. С. 248-252.

3. Козлова Л.И., Бузунов Р.В., Чучалин А.Г. ХОБЛ у больных ИБС: 15-летнее наблюдение // Реферативный журнал. 2002. № 2, ч. 1. С. 131.

4. *Козлова Л.И., Бузунов Р.В., Чучалин А.Г.* Хронические обструктивные болезни легких у больных ишемической болезнью сердца: 15-летнее наблюдение // Терапевтический архив. 2001. № 3. С. 27-32.

5. *Оганов Р.Г., Масленникова Г.Я.* Вклад сердечно-сосудистых и других неинфекционных заболеваний в здоровье населения России // Сердце. 2003. № 2. С. 58-61.

6. *Сапожникова С.Ю.* Коррекция изменений функции внешнего дыхания у больных ишемической болезнью сердца с помощью магнитолазерной терапии: дис. … канд. мед. наук. Чебоксары, 2007. 111 с.

7. *Соловьева Е.Л.* Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у больных ишемической болезнью сердца: стенокардией напряжения под влиянием лазерной терапии // Казанский медицинский журнал. 2006. № 3. С. 187-191.

8. *Терещенко С.Н., Демидова И.В., Левчук Н.Н.* Расстройства функции внешнего дыхания у больных с хронической сердечной недостаточностью и влияние ингибитора ангиотензинпревращающего фермента периндоприла // Кардиология. 1999. № 12. С. 10-13.

9. *Хейфец Ю.Б.* Методические рекомендации по применению аппарата квантовой терапии РИКТА. М.: МИЛТА-ПКП ГИТ, 2004. 275 с.

10. *Baxter D.G.* Therapeutic Lasers. Theory and Practice // Churchill Livingstone. Edinburgh, 1994. 259 p.

11. *Chua T.P., Ponikovski P., Harrington D.* The ventilatory response to exercise and its clinical correlates in chronic heart failure // Am. J. Cardiol. 1996. № 17. P. 214.

12. *McKibbin L., Downie R.* Treatment of Post Herpetic Neuralgia using a 904 nm (infrared) Low Incident Energy Laser: a Clinical Study // Laser Therapy. 1991. Vol. 3(1). P. 35-39.

13. *Meulemans E., Wemer M.* Light Sources for Photobiology and Phototherapy / Philips Lighting. Amsterdam, 1995. 27 p.

14. *Nasedkin A.N., Pletnev A.A.* Clinical application of a new 0.63-0.65 mm pulsed diode laser in treating ear, throat, and nose diseases in adults and children // Proceedings of SPIE. 2001. Vol. 4422. P. 78-81.

15. *Torre-Amione G., Kapadia S., Benedict C.* Proinflammatory cytokine levels in patient with depressed left ventricular ejection fraction // J. Am. Col.l Cardiol. 1996. № 27(5). P. 1201-1206.

САПОЖНИКОВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (michels2@rambler.ru).

SAPOZHNIKOV MIKHAIL YUREVICH – candidate of medical sciences, assistant professor of Internal Diseases Propaedeutics Chair with a Beam Diagnostics Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

САПОЖНИКОВА АНТОНИНА АЛЕКСЕЕВНА – доктор медицинских наук, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (mail4doktor@gmail.com).

SAPOZHNIKOVA ANTONINA ALEKSEEVNA – doctor of medical sciences, professor of Internal Diseases Propaedeutics Chair with a Beam Diagnostics Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

САПОЖНИКОВА СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (mail4svetlana@gmail.com).

SAPOZHNIKOVA SVETLANA YUREVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Internal Diseases Propaedeutics Chair with a Beam Diagnostics Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СОФРОНОВА ЕВГЕНИЯ ВАЛЕНТИНОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары

SOFRONOVA EVGENIA VALENTINOVNA – candidate of medical sciences, assistant professor of Internal Diseases Propaedeutics Chair with a Beam Diagnostics Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 612.6:159.9
ББК Е70*730*112.4:Ч421.3

Л.М. СЕМЕНОВА, Т.О. СЕМЕНОВА, Л.М. ЯКОВЛЕВА

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ ШКОЛЬНИКОВ К УЧЕБНОМУ ПРОЦЕССУ

Ключевые слова: *психоэмоциональное напряжение, функциональная адаптация, иммунные свойства, стресс.*

Адаптация к учебному процессу и новой социальной среде для большинства первоклассников сопровождается психоэмоциональным напряжением и влияет на психофизиологическое состояние, а также на иммунную систему и здоровье ребенка. Современные требования ориентируют образование и здравоохранение на сохранение здоровья детей в условиях повышения информационных нагрузок, качества обучения. Результаты данного исследования свидетельствуют о необходимости оптимизации учебной нагрузки в первом классе.

L.M. SEMYONOVA, T.O.SEMYONOVA, L.M. YAKOVLEVA

FUNCTIONAL ADAPTATIONS SCHOOLCHILDREN TO THE EDUCATIONAL PROCESS

Key words: *psycho-emotional stress, functional adaptations, the immune properties, stress.*

Adaptation to the educational process and a new social environment for the majority of first-graders is accompanied by psycho-emotional stress and impact on psychophysiological state, as well as, the immune system and the health of the child. Modern requirements to orient the education and healthcare on the preservation of health of children in the environment of increased loads of information, the quality of education. The results of this study indicate the need for optimizing the teaching load in the first class.

Адаптация к учебному процессу и новой социальной среде для большинства первоклассников сопровождается психоэмоциональным напряжением, приводит к снижению иммунных свойств, влияет на психофизиологическое состояние и здоровье ребенка [1, 2, 5, 6].

В литературе имеются две противоположные точки зрения, что повышенный уровень учебной нагрузки приводит к напряжению и срыву механизмов адаптации и при оптимизации всего процесса обучения в школе повышенный уровень учебной нагрузки не влияет на морфофункциональное развитие детского организма [1, 3].

В связи с вышеизложенным видно, что анализ и оценка адаптации учащихся к учебным нагрузкам в конкретных экологических, социальных условиях являются актуальными. Изучение особенностей адаптации к учебному процессу в современных условиях повышения информационных нагрузок и качества обучения имеет большое теоретическое и практическое значение.

Цель исследования – изучение психофизиологических и функциональных изменений у первоклассников в ходе адаптации к учебному процессу и новому коллективу после детского сада.

Материалы и методы исследования. Обследованы 55 учащихся (30 мальчиков и 25 девочек) двух 1-х классов (7-8 лет) с различной интенсивностью обучения и уровнем подготовленности МОУ СОШ № 62 (здоровьесберегающей технологией) г. Чебоксары. Все дети обучались в первую смену. Обследование детей проводилось после зимних каникул с 8 до 9 ч утра до начала уроков. Производилась оценка нервно-психического напряжения и самочувствия детей в исследуемых классах методом тестирования. Оценка вегетативного коэффициента (ВК) и аутогенной нормы (АТ-нормы) проводилась по 8-цветовому тесту Люшера [4, 7].

Определение неспецифических адаптационных реакций организма осуществлялось по лейкоцитарной формуле – соотношение различных видов лейкоцитов [8].

Для оценки функционального состояния кардиореспираторной системы организма использовали следующие параметры: частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление систолическое (САД), диастолическое (ДАД), жизненную емкость легких (ЖЕЛ). Артериальное давление и частоту сердечных сокращений определяли с помощью автоматического измерителя модели Wollex, учитывая рекомендации по измерению артериального давления. С помощью спирометра сухого портативного ССП определяли ЖЕЛ в мл, измерения проводили 2-3 раза, фиксируя наибольший результат.

Статистическая обработка материала осуществлялась с помощью критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе учебной деятельности в классах с разным уровнем подготовки и интенсивности обучения проведена оценка психоэмоционального статуса первоклассников в ходе учебной деятельности (табл. 1, 2).

Таблица 1

Динамика психоэмоционального статуса первоклассников с низким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*), у.е.

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки
Суммарное отклонение от аутогенной нормы	(*n* – 18) 20±1,62	(*n* – 8) 18,5±1,79	(*n* – 13) 22±2,31	(*n* – 10) 20,25±1,28
Вегетативный коэффициент	(*n* – 7) 1,76±0,54	(*n* – 8) 1,42±0,18	(*n* – 8) 1,79±0,47	(*n* – 9) 1,55±0,18
Выраженность стресса	(*n* – 18) 29,09±4,09	(*n* – 10) 13,66±4,03	(*n* – 16) 25,74±4,22	(*n* – 11) 23,04±4,31

Таблица 2

Динамика психоэмоционального статуса первоклассников с высоким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*), у.е.

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки
Суммарное отклонение от аутогенной нормы	(*n* – 8) 20,13±2,25	(*n* – 10) 21±1,89	(*n* – 5) 19,7±3,69	(*n* – 8) 21,5±4,57
Вегетативный коэффициент	(*n* – 5) 1,27±0,1	(*n* – 5) 1,43±0,3	(*n* – 2) 1,7±0,6	(*n* – 11) 1,71±0,31
Выраженность стресса	(*n* – 11) 19,74±4,78	(*n* – 14) 12,06±3,34	(*n* – 8) 15,01±2,23	(*n* – 13) 18,01±3,47

Показатель суммарного отклонения от аутогенной нормы указывает на повышение уровня непродуктивной напряженности у большинства детей в обоих классах, причем больше весной в конце учебного года (табл. 1, 2). Показатели вегетативного коэффициента указывают на сравнительно повышенный тонус симпатической нервной системы первоклассников. При этом у мальчиков и девочек в группе с более интенсивным процессом обучения и лучшей дошкольной подготовленности вегетативный коэффициент существенно больше возрастает, чем у школьников обоего пола с более низким уровнем подготовленности и интенсивности обучения в конце учебного года. Эти данные свидетельствуют об избыточном уровне возбуждения детей и неуравновешенности нервных процессов, что в стрессовых ситуациях является предпосылкой для возникновения лихорадочных реакций. Обследование обнаружило внутригрупповые и межгрупповые различия психофизиологических показателей и наличие дезадаптации. Клиническое исследование периферической крови проводилось натощак с 8 до 10 ч утра, результаты анализа лейкоцитарной формулы крови после зимних каникул и в конце учебного года приведены в табл. 3, 4.

Данные исследования первоклассников с низким уровнем дошкольной подготовленности свидетельствуют о наличии лейкопении, лимфоцитопении, моноцитопении и эозинофилии в течение всего учебного года (табл. 3).

Таблица 3

Динамика показателей белой крови у первоклассников с низким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*)

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики (*n* – 18)	девочки (*n* – 10)	мальчики (*n* – 18)	девочки (*n* – 11)
Лейкоциты, $10^9/_л$	6,22±0,57	5,82±1,01	7,2±0,5	6,65±0,86
Эозинофилы, %	2,06±0,61	1,5±0,64	2,5±0,84	2,91±1,36
Нейтрофилы:				
палочкоядерные, %	2,0±0,39	2,1±0,48	2,56±0,99	3,64±1,36
сегментоядерные, %	52,56±2,5	51,9±2,29	46,67±3,4	46,82±6,97
Лимфоциты, %	39,44±3,83	40,3±1,96	41,56±3,99	41,82±6,38
Моноциты, %	3,94±0,71	4,2±1,65	6,67±1,24	5,27±1,17

Таблица 4

Динамика показателей белой крови у первоклассников с высоким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*)

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики (*n* – 10)	девочки (*n* – 15)	мальчики (*n* – 10)	девочки (*n* – 15)
Лейкоциты, $10^9/_л$	6,58±0,7	6,41±0,74	6,94±1,28	6,44±0,97
Эозинофилы, %	2,3±0,86	1,73±0,65	1,9±0,86	1,87±0,76
Нейтрофилы:				
палочкоядерные, %	2,2±0,7	1,93±0,46	2,3±0,62	2,07±0,42
сегментоядерные, %	53,9±4,27	54,33±3,72	56,4±2,84	54,6±3,55
Лимфоциты, %	38,1+3,32	38,13+3,02	35,1 ±2,93	36,87±3,13
Моноциты, %	3,7±0,99	3,87±1,07	4,4±1,25	4,53±0,9

Результаты исследования первоклассников с высоким уровнем дошкольной подготовленности показывают наличие лейкопении, лимфоцитопении, моноцитопении и эозинофилии в течение всего учебного года (табл. 4). Анализ и оценка относительного и абсолютного содержания форменных элементов крови детей в динамике показывают снижение некоторых компонентов иммунного статуса организма в ходе учебного процесса. Снижение числа лимфоцитов свидетельствует о более выраженном напряжении адаптационных механизмов всех первоклассников. Для оценки функционального состояния детей зимой и весной учебного года было проведено исследование основных показателей гемодинамики и внешнего дыхания в состоянии относительного покоя (табл. 5, 6).

Результаты исследования показали, что показатели гемодинамики зимой у мальчиков и девочек в обеих группах находятся в пределах возрастных норм, весной показатели ДАД чуть ниже физиологической нормы наблюдались в классе с низким уровнем у девочек и у мальчиков с высоким уровнем дошкольной подготовленности. У мальчиков с низким уровнем дошкольной подготовленности отмечалось достоверное повышение ЧСС весной по сравнению с таковой в зимний период. У мальчиков с высоким уровнем дошкольной подготовленности наблюдалось достоверное уменьшение ДАД и ЧСС весной по сравнению с аналогичными показателями в зимний период. У всех обследуемых первоклассников показатели ЖЕЛ ниже средних статистических возрастных норм.

Итак, адаптация большинства первоклассников к учебному процессу и новой социальной среде сопровождается повышением непродуктивной напряженности. У всех обследуемых детей наблюдается сравнительно повышенный тонус симпатической нервной системы. При этом в классе с более высоким уровнем дошкольной подготовки вегетативный коэффициент существенно больше в конце учебного года. Независимо от уровня дошкольной подготовленности и интенсивности обучения первоклассники характеризуются снижением иммунных свойств организма, а также низкой физической тренированностью (по показателям ЖЕЛ).

Таблица 5

Функциональное состояние кардиореспираторной системы в покое у первоклассников с низким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*)

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки
САД, мм рт. ст.	(*n* – 19) 104±1,38	(*n* – 10) 104,75±2,75	(*n* – 19) 102,55±2,53	(*n* – 9) 93,2±2,75
ДАД, мм рт. ст.	(*n* – 19) 61±1,55	(*n* – 10) 60±2,73	(*n* – 19) 59,26±1,98	(*n* – 9) 55,5±2,82
ЧСС, уд./мин	(*n* – 19) 85,6±1,72*	(*n* – 11) 93,7±3,03	(*n* – 19) 92,7±2,18*	(*n* – 10) 95,4±3,12
ЖЕЛ, мл	(*n* – 19) 1231,58±35,91	(*n* – 11) 1336,36±66,43	(*n* – 18) 1233,33±30,25	(*n* – 11) 1318,18±56,92

Таблица 6

Функциональное состояние кардиореспираторной системы в покое у первоклассников с высоким уровнем дошкольной подготовленности (*M*±*m*)

Показатели	Зима (январь)		Весна (май)	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки
САД, мм рт. ст.	(*n* – 11) 100±2,28	(*n* – 14) 100±3,25	(*n* – 10) 96,4±2,99	(*n* – 14) 97,6±3,2
ДАД, мм рт. ст.	(*n* – 11) 61,7±1,44*	(*n* – 14) 61,57±1,44	(*n* – 10) 49,8±2,75*	(*n* – 14) 59,42±4,1
ЧСС, уд./мин	(*n* – 11) 92,9±2,66*	(*n* – 14) 99±3,03	(*n* – 9) 74±5,72*	(*n* – 14) 96,5±2,16
ЖЕЛ, мл	(*n* – 11) 1236,36±33,77	(*n* – 13) 1238,46±31,09	(*n* – 9) 1266,67±47,14	(*n* – 13) 1246,15±35,11

Примечание.* – различия достоверны (зима-весна, $p < 0,05$).

Таким образом, результаты исследований показателей морфофункционального и психоэмоционального состояния детей 7-8 лет в ходе приспособления к учебному процессу приводят к выявлению разной степени адаптации к обучению в школе. Это связано, по-видимому, с разным уровнем зрелости нервной системы, что указывает на необходимость индивидуального подхода в процессе обучения, проведения коррекции психофункционального статуса и уменьшения учебной нагрузки в первом классе.

Литература

1. *Агаджанян Н.А.* Стресс и теория адаптации. М.: Медицина, 2005. 191 с.

2. *Агаджанян Н.А., Юсупов Р.А., Двоеносов В.Г.* Физиологические механизмы адаптации растущего организма // Материалы IX Всерос. науч.-теор. конф. / Тат. гос. гуман.-пед. ун-т. Казань, 2008. С. 13-14.

3. Адаптационный потенциал учащихся начальной школы / *Л.А. Александрова, Л.М. Семенова, Т.О. Семенова и др.* // Пути совершенствования подготовки науч.-пед. кадров по ест.-науч. дисциплинам в современных условиях: материалы регион. науч.-практ. конфер. / Чуваш. гос. пед. ун-т. Чебоксары, 2006. С. 119-121.

4. *Махова Н.А., Балыкин М.В., Макеева Р.Ш.* Изменение физической работоспособности и психофизиологического состояния детей с умственной отсталостью при гипоксических воздействиях // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Экология, биология. 2008. Вып. 10, № 31(91). С. 14-19.

5. *Семенова Л.М., Семенова Т.О., Смирнова Н.В., Александрова Л.А.* Изучение психофизиологического состояния детей в ходе приспособления к учебному процессу // Нейронаука для медицины и психологии: труды 2-й междунар. междисц. конгресса (Судак, Крым, Украина, 10-21 июня). М.: МАКС Пресс, 2006. С. 161-162.

6. *Семенова Т.О., Семенова Л.М., Кубышкина М.Т.* Оценка состояния иммунной системы организма по показателям белой крови первоклассников // Аллергология и иммунология. 2006. Т. 7, № 3. С. 324-325.

7. *Собчик Л.Н.* Модифицированный восьмицветовой тест Люшера. СПб.: Речь, 2001. 112 с.

8. *Шабунина Е.И., Комарова Л.Г., Короташвили Л.В.* Справочник по лабораторной диагностике в педиатрии. Н.Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. службы, 2004. 112 с.

СЕМЕНОВА ЛЮДМИЛА МИХАЙЛОВНА – кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (Semenova-LM@ya.ru).

SEMYONOVA LUDMILA MIKHAYLVNA – candidate of biological sciences, associate professor of Normal Physiology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СЕМЕНОВА ТАТЬЯНА ОЛЕГОВНА – специалист по работе с ключевыми клиентами, представительство АО «САНОФИ» АВЕНТИС ГРУПП, Россия, Чебоксары.

SEMYONOVA TATYANA OLEGOVNA – expert on work with key clients, representation JSC «SANOFI» AVENTIS, Russia, Cheboksary.

ЯКОВЛЕВА ЛЮБОВЬ МАКСИМОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (28Lubov@mail.ru).

YAKOVLEVA LUBOV MAKSIMOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Pathologic Physiology Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 611.66
ББК Е70-696,322

С.В. СМЕЛОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ПОДБРЮШИННЫХ СТРУКТУР ЖЕНСКОГО ТАЗА

Ключевые слова: *женский таз, маточная артерия, мочеточники, влагалищный свод.*

На секционном материале с использованием анатомических методов исследования изучены закономерности топографо-анатомических взаимоотношений органов и подбрюшинных структур женского таза при вариантных положениях матки. Установлено, что типичные положения матки чаще сопровождаются симметричными взаимоотношениями с влагалищным сводом участков брюшинного покрова, подбрюшинно расположенных анатомических образований, где проекция маточной артерии и конечного отрезка мочеточника на влагалищный свод составила слева – 2,5-3,5 и 1,5-2,5, справа – 8,5-9,5 и 9,5-10,5 сегмента, соответственно. Вариантные положения матки часто влекут асимметричные проекционно-синтопические соотношения с влагалищным сводом подбрюшинных структур, при этом характерна большая площадь проекции на влагалищный свод левой маточной артерии и конечного отрезка левого мочеточника. Значительные смещения матки вправо чаще сопровождаются обратными проекционными взаимоотношениями.

S.V. SMELOV

REGULARITIES OF TOPOGRAPHIC ANATOMIC RELATIONS OF THE SUBPERITONEAL STRUCTURES OF THE FEMALE PELVIS

Key words: *female pelvis, uterine artery, ureters, vaginal fornix.*

In the sectional material, using anatomical research methods were studied patterns of topographic anatomic relationships of organs and subperitoneal structures of the female pelvis when we have multiple arrangements of the uterus. It is established that the typical positions of the uterus often accompanied by a symmetrical relationship with vaginal fornix sites peritoneal cover, subperitoneal located anatomic formations, where the projection of the uterine arteries and terminal segment of the ureter in the vaginal fornix were left – 2,5-3,5 and 1,5-2,5 right to 8,5-9,5 and of 9,5-10,5 segments, respectively. Variant positions of the uterus often leads to asymmetric projection-syntopic relations of the vaginal fornix and subperitoneal structures, and the typically more large area of the projection of the vaginal fornix the left uterine artery and terminal segment of the left ureter. Significant displacement of the uterus to the right are often accompanied by the inverse projection relationship.

Широкое использование в гинекологической практике трансвлагалищных доступов [15, 16], эндовидеохирургических вмешательств, различных видов ангиографий сопровождается появлением ряда специфических осложнений, обусловливающих необходимость разработки методов их профилактики [1]. Недостаточно изученными остаются вопросы кровоснабжения органов женского таза, где важная роль отводится вариантной анатомии маточной артерии [2, 3], топографо-анатомическим взаимоотношениям тазового отдела мочеточников, интраоперационные ранения которых наблюдаются в ходе гине-

кологических, урологических вмешательств [4, 6]. На этом фоне анатомо-экспериментальные работы, комплексно освещающие проекционно-синтопические взаимоотношения подбрюшинно расположенных органов и анатомических образований с влагалищным, сводом носят эпизодический характер.

Цель исследования – изучение закономерностей топографо-анатомических взаимоотношений органов и подбрюшинных структур женского таза с влагалищным сводом при вариантных положениях матки.

Материал для исследования – 125 органокомплексов женского таза, полученных острым путем на вскрытии [9].

Методы исследования:

1. Разделение влагалищного свода на сегменты [12], которые при проекции на них участков брюшинного покрова, маточных артерий, тазового отдела мочеточников, выполнении макротомных срезов служили более точными и ограниченными ориентирами, чем номенклатурное деление свода на части (рисунок).

2. Изготовление макротомных срезов [10]. Срезы делились на две группы: медиальный и латеральные. Медиальный выполнялся через 12- и 6-й сегменты (центральный срез). Для проведения латеральных (парных срезов) использовались 1- и 5-; 2- и 4-; 3- (слева); 11- и 7-; 10- и 8-; 9-й (справа) влагалищные сегменты. В срезах на различных уровнях измерялся окружающий матку слой подбрюшинной клетчатки.

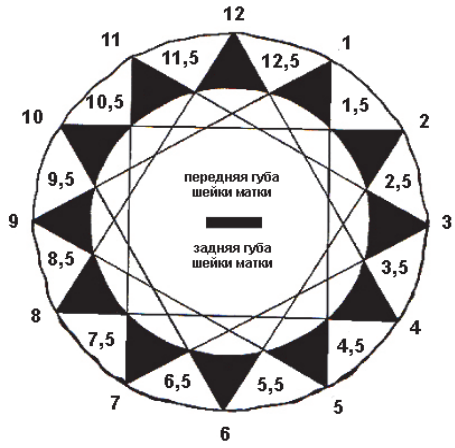


Схема сегментов влагалищного свода (обозначены цифрами)

3. Препарирование левой и правой маточных артерий в месте подхода к матке, перекреста артерии с тазовым отделом мочеточников, а также его конечного отрезка (места впадения в мочевой пузырь).

4. Пунктирование параметрия иглой в направлении маточной артерии для определения ее границ и/или в направлении брюшинного покрова с целью определения проекционных соотношений его участков (оснований широких связок матки, пузырно-маточного, прямокишечно-маточного углублений, прямокишечно-маточных складок) с влагалищным сводом [9].

5. Морфометрический метод – измерение расстояния от влагалищных сегментов до различных участков маточной артерии и тазового отдела мочеточников слева и справа. Выполнялся с использованием набора игл с ограничителем и циркуля.

6. Пространственное моделирование синтопических взаимоотношений маточной артерии и тазового отдела мочеточников с влагалищным сводом (патент РФ № 106424, 10.07.2011).

7. При статистической обработке полученных данных использовались количество наблюдений, среднее арифметическое, стандартное отклонение, средняя ошибка средней арифметической, минимальное и максимальное значения изучаемого признака, *t*-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. В основу группировки результатов исследования положена посегментная карта топографо-анатомических взаимоотношений органов и анатомических образований, локализованных в подбрюшинном этаже таза, с влагалищным сводом при вариантных положениях матки.

При anteversio-anteflexio et retroversio-retroflexio проекция левой и правой маточных артерий чаще была симметричной и соответствовала 2,5-3,5 и 8,5-9,5 сегмента. Расстояние от влагалищных сегментов до места подхода артерии к матке было схожим с обеих сторон. Наименьшее расстояние до артерии было характерно для 3-го (16,31±1,11 мм) и 9-го (16,89±1,44 мм) сегментов. По направлению к 6-му (27,45±1,40 и 27,72±1,89 мм слева и справа) и 12-му (27,23±1,32 и 28,01±1,87 мм слева и справа) сегментам расстояние увеличивалось. Расстояние было наименьшим до перекреста артерии с мочеточником по 3-му и 9-му сегментам (25,63±1,95 и 25,82±1,74 мм, соответственно). В направлении 6-го и 12-го сегментов достигало максимума (от 36,47±1,39 до 37,89±2,73 мм). Расстояние от перекреста до краев матки слева и справа было симметричным (24,70±3,83 и 23,63±3,87 мм, соответственно). Устье левого мочеточника не выходило за границы 1,5-2,5; правого – 9,5-10,5 сегмента, удаленность устьев от шейки составила 11,84±1,58 мм слева и 12,69±1,41 мм справа [13].

Учитывая приведенное выше, а также проекционно-синтопические взаимоотношения с влагалищным сводом брюшинного покрова [14], кардинальных связок матки [11], трансвлагалищные доступы в направлении пузырно-маточного углубления следует выполнять в проекции 10,5-1,5 сегмента. Для доступов в направлении прямокишечно-маточного углубления следует остановиться на сегментах 5,5-6,5, на которые не проецируются магистральные сосуды. Доступы в проекции 2-5-го (слева) и 7-10-го сегментов (справа) по причине проекции на них мочеточников и магистральных сосудов опасны, поскольку сопряжены с их ранением.

Сведения о топографо-анатомических взаимоотношениях органов малого таза, профилактике их повреждений в ходе оперативных вмешательств, датируемые последним десятилетием [2, 3, 4, 6], дают возможность оценки их соотношения с соседними анатомическими структурами. Среди них – метод компьютерного моделирования женского таза, целью которого является снижение риска интраоперационных осложнений при операциях на матке, повреждения ее магистральных сосудов, нервных стволов, мочевых органов и прямой кишки [5, 7, 8]. Между тем при всем многообразии подходов и информативности результатов недостаточно освещенными остаются комплексные взаимоотношения брюшинных и подбрюшинных структур с влагалищным сводом, в особенности при атипичных положениях матки.

Так, проекционно-синтопические взаимоотношения маточной артерии и тазового отдела мочеточников с влагалищным сводом при значительных sinistroversio et sinistropositio сводились к тому, что проекция левой маточной артерии составила 2-4, правой – 8,5-9,5 сегмента. Это свидетельствовало о большей площади проекции слева. Расстояние от влагалищных сегментов до места подхода артерии к матке справа превышало показатели слева, где меньшее расстояние было характерно для 3-го и 9-го сегментов (14,14±1,71 и 16,76±1,78 мм, соответственно). В направлении 6-го и 12-го сегментов расстояние равномерно увеличивалось до 24,20±2,21 и 25,13±1,78 мм (слева) и до 26,32±2,17 и 27,89±2,42 мм (справа). Среднее расстояние от сегментов до перекреста маточной артерии с мочеточником и от перекреста до краев матки справа было больше, чем слева. Минимальное среднее расстояние до перекреста (20,79±1,82 и 24,37±2,75 мм) принадлежало 3- и 9-му сегментам, соответственно. По направлению к 6-му и 12-му сегментам это расстояние увеличивалось слева до 30,31±1,46 и 32,75±1,57 мм; справа – до 36,27±3,17 и 38,17±3,19 мм. Расстояние от перекреста до краев матки справа составило 25,00±3,29; слева – 21,10±3,37 мм. Устье левого мочеточника имело большую площадь проекции (12,5-2 сегменты) и было менее удалено от шейки матки (8,11±1,18 мм), чем

устье правого мочеточника, где его проекция не выходила за пределы 10-го – 11-го сегментов, и было удалено от шейки в среднем на 12,98±1,54 мм [13].

Помимо этого наблюдалось вариантное разнообразие взаимоотношений с влагалищным сводом брюшинного покрова [14] и расположенных подбрюшинно кардинальных связок [11]. Поэтому при выраженных sinistroversio, sinistropositio доступы в направлении пузырно-маточного углубления следует выполнять через сегменты 12-1,5 из-за значительной площади проекции правой кардинальной связки и левого мочеточника. Для доступов в направлении прямокишечно-маточного углубления следует воспользоваться сегментами 6 и 6,5, что связано со смещением углубления вправо, близостью прямокишечно-маточных складок, содержащих значительное количество сосудов.

При выраженных смещениях матки вправо (dextroversio, dextropositio) проекционно-синтопические взаимоотношения левой маточной артерии составили сегменты 2-4, правой – сегменты 8-10,5. Это свидетельствовало о большей площади проекции справа, при смещении артерии к 10,5-му сегменту. Отмечалось снижение расстояния от сегментов до места подхода артерии к матке справа, при этом наименьшее расстояние было характерно для 3-го (16,72±1,67 мм) и 9-го (14,03±1,57 мм) сегментов. По направлению к 6-му и 12-му сегментам расстояние увеличивалось до 27,81±1,33 и 26,74±1,85 мм слева; до 22,87±1,34 и 24,30±1,41 мм справа. Характерным явилось уменьшение расстояния до перекреста правой артерии с мочеточником и от перекреста до правого края матки, где оно составило 20,85±3,74 мм (слева – 25,78±2,76 мм). Минимальное среднее расстояние до перекреста (24,32±1,49 и 21,56±1,98 мм) было характерно для 3- и 9-го сегментов соответственно. По направлению к 6- и 12-му сегментам это расстояние увеличивалось: слева до 36,13±1,97 и 38,05±1,45 мм; справа – до 32,46±2,31 и 36,12±2,76 мм [13].

Обращало на себя внимание расширение границ конечного отрезка правого мочеточника (9-12-й сегменты) и снижение расстояния до шейки матки до 9,11±1,69 мм. На этом фоне конечный отрезок левого мочеточника имел меньшую площадь проекции (1-2,5 сегменты) и был более удален от шейки матки (12,11±1,85 мм) [13].

Изложенное выше, а также вариантный разброс соотношений со сводом брюшинного покрова [14], значительная площадь проекции правой маточной артерии, левой кардинальной связки [11] предполагают, что трансвлагалищные доступы в направлении пузырно-маточного углубления при положениях матки dextroversio и в особенности dextropositio следует выполнять через сегменты 10,5-12. Для доступов в направлении прямокишечно-маточного углубления при положении dextroversio, dextropositio следует предпочесть 6-й, а при отсутствии в проекции левой кардинальной связки – и 5,5 сегменты.

Полученные результаты дополняют известные сведения о топографии женского таза, детально раскрывают проекционно-синтопические взаимоотношения с влагалищным сводом подбрюшинно расположенных анатомических образований (маточной артерии, тазового отдела мочеточников), дают возможность использования результатов для обоснования трансвлагалищных доступов.

Выводы. 1. Типичные положения матки чаще сопровождаются симметричными морфометрическими показателями и взаимоотношениями с влагалищным сводом участков брюшинного покрова, подбрюшинно расположенных анатомических образований, где проекция маточной артерии и конечного отрезка мочеточника на влагалищный свод составили слева – 2,5-3,5 и 1,5-2,5 справа – 8,5-9,5 и 9,5-10,5 сегмента, соответственно.

2. Вариантные положения матки часто влекут асимметричные проекционно-синтопические соотношения подбрюшинных структур с влагалищным сводом, где главной особенностью при смещениях матки влево является большая площадь проекции на влагалищный свод левой маточной артерии и конечного отрезка левого мочеточника. Значительные смещения матки вправо чаще сопровождаются обратными проекционными взаимоотношениями.

3. Вариантный разброс взаимоотношений элементов подбрюшинного и брюшинного этажей таза с влагалищным сводом определяет хирургическую тактику выполнения трансвлагалищных доступов.

Литература

1. *Высоцкий М.М., Манухин И.Б., Дигаева М.А.* Осложния при выполнении радикальных операций у гинекологических пациенток лапароскопическим доступом // Эндоскопическая хирургия. 2009. № 2. С. 59-61.

2. *Гайворонский И.В., Берлев И.В., Кузнецов С.В.* Анатомические особенности маточной артерии и параметрального венозного сплетения // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2007. № 1. С. 53-59.

3. *Гайворонский И.В., Максимов А.С.* Особенности архитектоники и морфометрические характеристики маточной артерии у женщин в репродуктивном и постменопаузальном возрасте // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 11. 2008. Вып. 4. С. 166-173

4. *Довлатян А.А., Рябов М.А.* Отдаленные результаты восстановительных операций при ятрогенных повреждениях мочевых путей // Хирургия. 2005. № 4. С. 45-51.

5. *Лойт А.А., Пугачева М.А., Боровикова О.П.* Применение трехмерной компьютерной модели таза для профилактики интраоперационных осложнений // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2007. № 4. С. 89-96.

6. *Мартов А.Г., Меринов Д.С., Гурбанов Ш.Ш., Маслов С.А.* Рентгеноэндоскопическое лечение мочеточниково-влагалищных и мочеточниково-маточных свищей // Consilium Medicum. Т. 9. № 4. 2007. С. 34-36.

7. *Пугачева М.А.* Профилактика интраоперационных осложнений при хирургическом лечении заболеваний органов малого таза у женщин: автореф. дис. … конд. мед. наук. СПб., 2007. 23 с.

8. *Симбирцев С.А., Трунин Е.М., Пугачева М.А.* Использование компьютерной модели женского таза в хирургии // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2005. № 4. С. 30-31.

9. *Смелов С.В.* Комплексные препараты – анатомический материал для изучения проекционно-синтопических взаимоотношений элементов параметрия с влагалищным сводом // Медицина и здоровье-2004: сб. науч. трудов X науч.-практ. конф. в рамках междунар. выставки / Пермская гос. мед. академия. Пермь, 2004. С. 343-344.

10. *Смелов С.В.* Макротомные (пироговские срезы) – метод изучения проекционно-синтопических взаимоотношений структурных элементов параметрия с влагалищным сводом // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 417-422.

11. *Смелов С.В.* Особенности проекционных взаимоотношений кардинальных связок матки с влагалищным сводом // Клиническая анатомия и экспериментальная хирургия. 2011. Вып. 11. С. 98-101.

12. *Смелов С.В.* Хирургическая анатомия влагалищного свода // Успехи современного естествознания. 2004. № 4. С. 120-121.

13. *Смелов С.В., Ланцова Н.Н.* К вопросу о синтопических взаимоотношениях матки и мочевого пузыря // Фундментальные исследования. 2012. № 8. С. 153-156.

14. *Смелов С.В., Семенов В.В., Шалимов Е.С.* Особенности проекционно-синтопических взаимоотношений брюшинного покрова женского таза с влагалищным сводом при вариантных положениях матки // Фундаментальные исследования. 2012. № 5, ч. 2. С. 346-350.

15. Anterior and posterior vaginal myomectomy: a new surgical technique / *R. Carminati, A. Ragusa, R. Giannice et al.* // Med. Gen. Med. 2006. Vol. 8. № 1. P. 42.

16. *Berretta R., Merisio K., Melpignano M., Rolla M.* Vaginal versus abdominal hysterectomy in endometrial cancer: a retrospective stady in selective population // Inter. Journal of Gynecol. Cancer. 2008. Vol. 18. P.797-802.

СМЕЛОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной и топографической анатомии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (sv-smel@mail.ru).

SMELOV SERGEY VLADIMIROVICH – candidate of medical sciences, associate professor of General and Topographic Anatomy Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 612.438:615.37
ББК Е60*743.11:Р281.774

Е.А. СОЛЁНОВА, Е.А. ГУРЬЯНОВА, Л.А. АЛЕКСЕЕВА

АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ СТРУКТУР ТИМУСА И РАННЕГО ИММУННОГО ОТВЕТА НА ФОНЕ ПРИЕМА ИММУНОМОДУЛЯТОРА

Ключевые слова: *тимус, иммунитет, трансфер фактор, серотонин, катехоламины.*

Представлены результаты исследования механизма иммунной реакции при предварительной иммуностимуляции крыс препаратом «Трансфер Фактор Классик» методами анализа количественной и функциональной активности структур тимуса, изучения динамики содержания в них биоаминов (серотонина и катехоламинов), анализа динамики лейкоцитарной формулы, оценки общего состояния организма.

E.A. SOLYONOVA, E.A. GURYANOVA, L.A. ALEKSEEVA

THE ANALYSIS OF ACTIVITY OF THE STRUCTURES OF THYMUS AND EARLY IMMUNE ANSWER DURING THE TAKING THE IMMUNOMODULATOR

Key words: *immune, thymus, transfer factor, serotonin, catecholamines.*

The present article considers the findings of the immune answer mechanism with preliminary accepting preparation "Transfer factor Classic" by rats by the methods of analysis quantitative and functional activity of thymus structures, examination of the dynamics of containing serotonin and catecholamines,, the analysis of the leukocytic composition dynamics and appraisal of the organism general condition.

Иммунодефицит является одной из причин развития повышенной восприимчивости к инфекционным болезням, аллергических заболеваний, онкологии, а также ряда патологий, сокращающих продолжительность жизни человека. В XXI в. данная проблема обострилась вследствие плохой экологии, стресса, нездорового образа жизни и неправильного питания [14, 16]. Фармакологические производители предлагают множество препаратов для иммунокоррекции и повышения резистентности организма в условиях иммунодефицита. В их ряду появились препараты трансфер фактора (ТФ). ТФ – это полипептид с малой молекулярной массой, который передается детенышам млекопитающих, в том числе и человеку, с молозивом матери и при контакте обучает незрелые иммунные клетки качественному и правильному иммунному ответу [10]. Препараты ТФ уже многие годы успешно используются для лечения и профилактики бактериальных, вирусных, грибковых инфекций, паразитарных болезней, злокачественных опухолей, аутоиммунных, неврастенических, аллергических и эндокринных расстройств; первичных и вторичных иммунодефицитов; при болезнях, сопровождающихся нарушениями функций иммунной системы [15]. Данное исследование направлено на изучение морфофункиональных характеристик структур тимуса в период раннего иммунного ответа и анализ иммунокорригирующей активности биологически активной добавки «Трансфер Фактор Классик» (далее – «ТФК»), подтвержденной в некоторых клинических и морфологических исследованиях [1, 3, 5, 8-11].

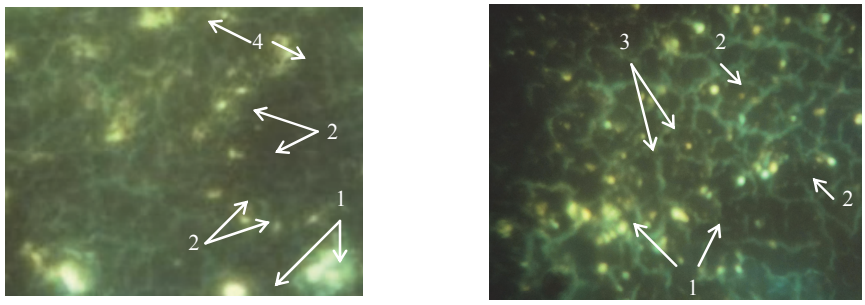
Целью исследования явился анализ гистоморфологических изменений тимуса, количественной и функциональной активности его гранулярных люминесцирующих клеток в динамике под влиянием препарата «ТФК» в эксперименте.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования стали 28 самцов белых беспородных крыс в возрасте 2-3 месяцев массой 200 г. Животные были разделены на 2 группы: опытную, которая в течение месяца получала препарат «ТФК» в дозе 8,6 мг/кг per os, и контрольную, не получавшую препарат. Питание обеих групп на протяжении эксперимента было одинаковым. Через месяц всем животным в качестве антигена была введена внутривенно, в хвостовую вену, суспензия эритроцитов барана концентрацией 0,2 мл/мл дозой

1 мл [12]. После этого животных и в опытной, и в контрольной группе разделили на 3 подгруппы соответственно сроку забоя: 1 ч, 3 ч и 4 ч. Затем под глубоким эфирным наркозом брали кровь из левого желудочка сердца, затем извлекали тимус и селезенку, криостатные срезы которых толщиной 15 мкм окрашивались по люминесцентно-гистохимическому методу Фалька–Хилларпа (1962) с последующей цитоспектрофлуорометрией [2] для выявления люминесцирующих структур органа на люминесцентном микроскопе под увеличением 400. Содержание биоаминов представлено в условных единицах. Определялась статистическая зависимость данных результатов от параметров распределения с использованием непарного *t*-критерия Стьюдента, непрерывные переменные представлены в виде среднего значения со стандартной ошибкой среднего. Различия считались достоверными при двустороннем уровне значимости $p < 0,05$

Результаты исследования и их обсуждение. В результате наблюдений в течение месяца выявлено, что опытные крысы имели более активное поведение, хороший аппетит, быстрое восстановление после наркоза, наблюдалось улучшение качества шерсти. У опытных крыс масса тимуса и селезенки достоверно увеличилась на 11% ($p < 0,002$). Важно отметить, что при внутривенном десятидневном введении ТФ в физиологическом растворе в дозе 0,8 мг/кг 12-месячным самкам не наблюдается уменьшения массы тимуса в ответ на развитие стресса, вызываемого введением изопротеренола [4].

Результаты данных исследований показали, что картина дольки на люминесцентных срезах тимуса подопытных и контрольных животных на каждом сроке исследования имела определённые морфологические отличия от дольки интактных особей (рис. 1). В отличие от картины контроля, где ГЛК разного размера располагаются на неодинаковом расстоянии друг от друга и имеют разную степень дегрануляции (рис. 1, *а*), дольки тимуса опытных крыс имеют правильную форму, расположены мозаично, содержащиеся в них ГЛК одного размера (рис. 1, *б*).



а *б*

Рис. 1. Корковое вещество тимуса крыс через 3 ч после введения антигена:
не получавших иммуностимулятора (контроль)
и получавших «Трансфер Фактора Классик» (опыт) (ув. ×400).
Метод Фалька–Хилларпа: *а* – контроль; *б* – опыт.
1 – цельные ГЛК; 2 – дегранулировавшие ГЛК;
3 – отдельно лежащие гранулы; 4 – скопления гранул

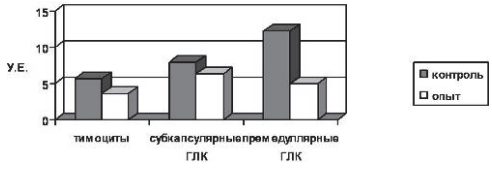
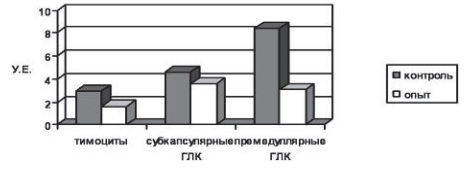
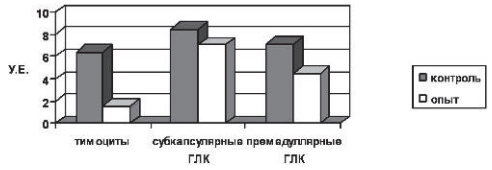
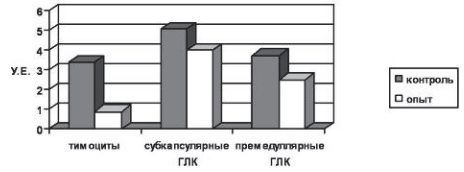
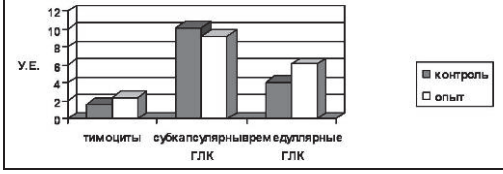
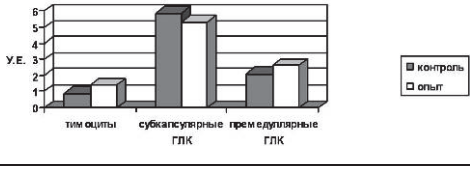
В результате эксперимента отмечено, что более выраженные изменения функциональной активности ГЛК под действием препарата «ТФК» происходят в корковом веществе дольки тимуса. Здесь у контрольных крыс она максимальна через 4 ч, в премедуллярной зоне представлена единичными гранулами, в субкапсулярной – гранулы и клетки разного размера, расположены группами (рис. 1, *а*). А у опытных крыс функциональная активность ГЛК максимальна через 3 ч, гранулы крупные, клетки и гранулы, в основном, не группиро-

ваны, располагаются отдельно. В премедуллярной и субкапсулярной зонах выявлены мелкие отдельно лежащие гранулы (рис. 1, *б*). В мозговом веществе дольки тимуса контрольных крыс дегрануляция ГЛК достигает максимума через 3 ч, представлена единичными гранулами на границе с премедуллярной зоной. В мозговом веществе тимуса опытных уровень дегрануляции максимален через 1 ч, также наблюдается единичная дегрануляция ГЛК.

Содержание серотонина в субкапсулярных ГЛК коркового вещества тимуса через 1 ч, 3 ч и 4 ч у опытных крыс составляет 6,43±0,37, 7±1,64, 9,2±1,3 ($p < 0,0072$). У контрольных – 7,98±0,23, 8,4±0,44, 10,22±0,07 ($p < 0,0072$). Динамика катехоламинов в опыте – следующая: 3,65±0,14, 2,95±0,025, 4,5±0,26 ($p < 0,016$), в контроле – 4,6±0,13, 5,05±0,13, 5,9±0,09 ($p < 0,016$). Таким образом, в динамике за 4 ч содержание серотонина в ГЛК коркового вещества контрольных крыс достоверно увеличилось на 28%, катехоламинов – на 29%; у опытных – на 51% и 26%, соответственно. Содержание серотонина в тимоцитах опытных крыс через 1 ч, 3 ч, 4 ч составило 3,6±0,97, 1,6±0,2, 2,4±0,25 ($p < 0,0072$). У контрольных крыс – 5,7±0,37, 6,4±0,82, 1,646±0,31 ($p < 0,0072$). Содержание катехоламинов в тимоцитах опытных крыс через 1 ч, 3 ч, 4 ч составило 1,64±,0,54 0,9±0,08, 1,41±0,15 ($p < 0,016$). Картина в динамике у контрольных крыс следующая: 2,95±0,1, 3,38±0,23, 0,882±0,04 ($p < 0,016$). Содержание серотонина в тимоцитах опытных крыс достоверно уменьшается на 33% ($p < 0,0072$), а у контрольных достоверно уменьшается на 71% ($p < 0,0072$). Содержание катехоламинов в тимоцитах опытных особей волнообразно в динамике. У контрольных крыс динамика сходна, но итоговое содержание достоверно меньше исходного на 70% ($p < 0,016$) (табл. 1).

Таблица 1

Динамика содержания биоаминов в корковых структурах тимуса после антигенного воздействия

Серотонин ($p < 0,0072$)	Катехоламины ($p < 0,016$)
Через 1 ч	Через 1 ч
	
Через 3 ч	Через 3 ч
	
Через 4 ч	Через 4 ч
	

При изучении изменений лейкоцитарной формулы выявлены различия показателей в опытной и контрольной группах. Содержание лимфоцитов под влиянием «ТФК» изменяется в течение 4 ч волнообразно с незначительным отклонением и через 4 ч возвращается к показателю 1 ч. Динамика контрольной группы весьма отлична, так как в ней количество лимфоцитов увеличивается со временем линейно, максимум содержания лимфоцитов приходится на 4 ч с достоверным увеличением на 58% от показателя 1 ч ($p < 0,015$). Следовательно, опытная группа, в отличие от контрольной, имеет стабильную динамику лимфоцитов с незначительными колебаниями в противоположность результатам контрольной группы, в которой наблюдается достоверное увеличение лимфоцитарной популяции в крови с ходом развития иммунного ответа.

Использование таких иммуномодуляторов, как ферровир, гептрал и мексикор, лишь частично нормализует в крови содержание лимфоцитов, однако полностью восстанавливает метаболическую активность нейтрофилов периферической крови [8], чего не наблюдается при применении «ТФК», не вызывающего существенных изменений динамики нейтрофилов. Следует заключение, что иммуномодуляция препаратом «ТФК» направлена, в основном, на увеличение продукции и активности лимфоцитов в крови.

Результаты настоящего исследования показывают, что введения «ТФК» в дозе 8,6 мг/кг массы в день в течение месяца достаточно для запуска механизмов активации с возможным дальнейшим развитием полноценного иммунного ответа [6]. Употребление «ТФК» положительно влияет на функциональную активность тимуса крыс и замедление инволюции тимуса. Наши данные согласуются с результатами профессора М.Г. Летифова [10], который обнаружил положительные результаты при применении препаратов трансфер фактора у детей с аллергическими заболеваниями.

После антигенной стимуляции процесс обеспечения катехоламинами и серотонином отклоняется от нормы с первого часа у контрольной и опытной групп. У животных, употреблявших «ТФК», содержание биоаминов в субкапсулярных ГЛК коркового вещества тимуса достоверно меньше от показателей у контрольной группы, у которой содержание моноаминов резко возрастает в тимоцитах. При предварительной иммуностимуляции процесс обеспечения биоаминами субкапсулярных ГЛК имеет волнообразный характер и не возвращается к норме в течение 4 ч. Без применения «ТФК» содержание биоаминов в них увеличивается линейно. При иммуностимуляции в тимоцитах мозгового вещества тимуса общая динамика биоаминов имеет синусоидный характер и не возвращается через 4 ч к исходному уровню, в то же время без применения «ТФК» наблюдается падение содержания данных биологически активных веществ.

В субкапсулярных ГЛК коркового вещества тимуса под влиянием катехоламинов происходят созревание и рост популяции Т-лимфоцитов в ответ на поступление антигена [6]. Таким образом, стабильное содержание лимфоцитов у опытных особей является следствием адекватной функциональной активности ГЛК и достаточным содержанием катехоламинов в корковых структурах тимуса [15]. Отсутствие данных факторов специфической резистентности [6] у контрольных животных, возможно, приводит к увеличению уровня лимфоцитов спустя время.

Увеличение массы тимуса, имеющее место в эксперименте, может служить показателем отсутствия инволютивных процессов в данном органе у особей одного возраста [6, 14, 16].

Имеются данные о применении иммуномодуляторов растительного происхождения как одного из безопасных средств лечения иммунодисфункций: настойки элеутеррокока, эхинацеи и др. Однако применение первых повышает активность лишь фагоцитарного звена [13], наблюдается индивидуальная непере-

носимость растительных компонентов. В связи с этим имеет место преимущество «ТФК» в ряду иммуномодулярующих средств животного и растительного происхождения как безопасного препарата с широким спектром действия [15].

Выводы. 1. Увеличение массы тимуса, развитость долечных структур тимуса [3], вероятно, свидетельствуют об уменьшении инволюционных процессов у особей одного возраста [14, 16].

2. При развитии раннего иммунного ответа на фоне приема «ТФК» повышается функциональная активность ГЛК тимуса в виде множественной дегрануляции [6].

3. Иммуномодуляция препаратом «ТФК» направлена, в основном, на увеличение продукции и активности лимфоцитарного звена иммунитета.

4. Стабильное содержание лимфоцитов в крови, вероятно, является показателем готовности иммунной системы особей, получавших препарат «ТФК», к специфическому ответу.

Литература

1. *Алексеева Л.А., Гурьянова Е.А.* Изменения биоаминов селезёнки и иммунобиохимических показателей крови крыс при воздействии иммуномодулятором // Материалы VII конференции по патологии клетки. Москва, 11-12 ноября 2012 г. М.: МДВ, 2010. С. 4-6.

2. *Виноградов С.Ю., Диндяев С.В., Криштоп В.В.* Материалы к изучению цитологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.isma.ivanovo.ru/index.php?option=com_docman&task= doc_download&gid=658&Itemid=17&lang=ru.

3. *Гордон Б.М.* Люминесцентно-гистохимический анализ гистаминобеспечения структур тимуса в первый час контакта организма с растворимым антигеном: автор. дис. … канд. мед. наук. Новосибирск, 1990. 24 с.

4. *Донцов В.И., Кудашов А.А., Крутько В.Н.* Иммуномодуляторы как геропротекторы: восстановление потенциала клеточного роста тканей у старых мышей трансфер-фактором [Электронный ресурс]. URL: http://www.gerontology-explorer.narod.ru/f3c717f8-bd52-475c-8a92-28c39ef74415.html.

5. *Забродская Е.Н.* Особенности специфической иммунотерапии у больных аллергическим интермиттирующим ринитом с сопутствующим синдромом вторичной иммунной недостаточностью [Электронный ресурс]. URL: http://www.dissercat.com/content/osobennosti-spetsificheskoi-immunoterapii-u-bolnykh-allergicheskim-intermittiruyushchim-rini.

6. *Ильина Л.Ю., Сергеева В.Е.* Биоаминсодержащие структуры тимуса при иммуномодуляции: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2004. С. 81-82.

7. Иммунореабилитация при инфекционно-воспалительных и соматических заболеваниях с использованием Трансфер Фактора: метод. письмо Минздравсоцразвития РФ от 30.07.2004 г. № 14/231 [Электронный ресурс]. URL: http://www.a-factor.com/metoda.html.

8. *Кеня А.А.* Нарушения иммунного гомеостаза у больных с острым и обострением хронического сальпингоофорита [Электронный ресурс]. URL: http://www.dissercat.com/content/narusheniya- immunnogo-gomeostaza-u-bolnykh-s-ostrym-i-obostreniem-khronicheskogo-salpingooforita.

9. *Кухаркина О.В.* Получение и изучение свойств препаратов фактора переноса против некоторых вирусных и бактериальных инфекций животных: дис. … канд. биол. наук. Владимир, 2003. 24 с.

10. *Летифов Г.М.* Возможности и перспективы применения Трансфер Факторов в педиатрии [Электронный ресурс]. URL: http://www.shirleys-wellness-cafe.com/russian/transfer-factor-russianlit24.htm.

11. Нейромедиаторный статус селезенки крыс при воздействии иммуномодулятора в условиях экспериментального токсического гепатита */ Л.А. Алексеева, Е.А. Гурьянова, А.С. Павлова и др.* // Морфологические ведомости. 2010. № 2. С. 80-83.

12. *Фримель Г.* Иммунологические методы / пер. с нем. А.П. Тарасова. М.: Медицина, 1987, 472 с.

13. *Шестакова Н.А.* Клинико-иммунологические особенности ответа пациентов с аллергической и неаллергической формой атопического дерматита на введение активированных Т-лимфоцитов [Электронный ресурс]. URL: http://www.dissercat.com/content/kliniko-immunologicheskie-osobennosti-otveta-patsientov-s-allergicheskoi-i-neallergicheskoi.

14. *Di Naro E., Cromi A., Ghezzi F.* Fetal thymic involution: a sonograhpic marker of the fetal inflammatory syndrome // Am. J. Obstet. and Gyn. 2006. Vol. 194, № 1. P. 153-159.

15. *Kirkpatrick CH.* Activities and characteristics of Transfer Factors // Biotherapy. 1996. № 9(1-3). P. 13-16.

16. *Varas A., Jimenez E., Sacedon R. et al.* Analysis of human neonatal thymus: evidence for transient thymic involution // J. Immunol. 2000. Vol. 164. P. 6260-6267.

СОЛЁНОВА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА – студентка IV курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (elensoul@mail.ru).

SOLYENOVA ELENA ALEKSANDROVNA – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ГУРЬЯНОВА ЕВГЕНИЯ АРКАДЬЕВНА – доктор медицинских наук, доцент кафедры восстановительной медицины, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (eagurian@rambler.ru)

GURYANOVA EVGENIYA ARKADYEVNA – doctor of medical sciences, assistant of professor of Restoration Medicine Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АЛЕКСЕЕВА ЛИЯ АРКАДЬЕВНА – соискатель ученой степени кандидата медицинских наук кафедры факультетской терапии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (zdr-nacia@yandex.ru)

ALEKSEEVA LIYA ARKADYEVNA – competitor of scientific degree of medical sciences of Faculty Therapy Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616-002.5(470.344)
ББК Р 11(2 Рос.Чув) 062.54

Л.В. СТЕКОЛЬЩИКОВ

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ТУБЕРКУЛЕЗОМ НАСЕЛЕНИЯ ТРУДОСПОСОБНОГО ВОЗРАСТА ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ключевые слова: *трудоспособный возраст, туберкулез, мужчины, женщины, первичная заболеваемость в возрастно-половых группах.*

Статья посвящена изучению уровня и структуры первичной заболеваемости туберкулезом (ТБ) населения трудоспособного возраста Чувашской Республики в 2009 г. Уровень и структура заболеваемости ТБ зависят от пола и возраста населения и локализации туберкулезного процесса. Среди общего количества первично заболевших 99% (оба пола) приходится на больных с ТБ органов дыхания (у мужчин – 99,9%, женщин – 97,6%). Самый высокий уровень первичной заболеваемости у мужчин в возрастной группе 45-54 лет (174,72 случая на 100 тыс. мужского населения данной возрастной группы). Максимум первичной заболеваемости среди женщин приходится на активный репродуктивный возраст 25-34 года (58,1 случая).

L.V. STEKOLCHSHIKOV

INCIDENCE OF TUBERCULOSIS AMONG ABLE-BODIED PERSONS IN THE CHUVASH REPUBLIC

Key words: *able-bodied persons, tuberculosis, males, females, incidence by age and sex groups.*

The paper is devoted to the study of the level and structure of the primary tuberculosis incidence among able-bodied persons in the Chuvash Republic in 2009 year. The tuberculosis disease level and structure depend on the population sex and age and tubercular process localization. Among the general quantity of incidence 99% (the both sexes) is devoted to the people having tuberculosis of respiratory system (men – 99,9%, women – 97,6%). The highest level of maximum incidence among the men of 45-54 (174,72 incidents for 100,000 of male population of the same age group). Women maximum incidence exists among women of active reproduction age of 25-34 years (58,1 incidents).

Среди основных заболеваний, выделяемых Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и представляющих угрозу существованию человеческой цивилизации, значится и ТБ, поэтому в задачи политики ВОЗ в Европейском регионе на XXI в. входят «энергичные и согласованные действия и меры, направленные на усиление программ профилактики и лечения ТБ» [1. С. 22]. Несмотря на то, что в настоящее время по сравнению с 90-ми гг. XX в. показатели заболеваемости и смертности от ТБ стабилизировались и даже немного снизились, ситуация по ТБ выглядит напряженной. Первичная заболеваемость активным ТБ в 2011 г. в Российской Федерации (РФ) составила 72,67 случая на 100 тыс. населения [3. С. 91], в Чувашской Республике (ЧР) в 2010 г. – 66,1 [4. С. 66]. По сравнению с 1989 г. (до начала её роста) уровень первичной заболеваемости в РФ в

2,2 раза выше (в 1989 г. первичная заболеваемость составляла 33,0 на 100 тыс. населения [3. С. 91]), в ЧР по сравнению с 1990 г. в 2 раза выше (в 1990 г. уровень первичной заболеваемости составлял 32,6 на 100 тыс. населения [5. С. 7]).

Цель исследования – проанализировать и оценить уровень первичной заболеваемости ТБ населения трудоспособного возраста ЧР в 2009 г. и наметить дальнейшие меры по предупреждению распространения инфекции в республике.

Материалы и методы исследования. Информация по первичной заболеваемости ТБ населения ЧР взята из отчетной формы № 8 «Сведения о заболеваемости активным туберкулезом за 2009 год» Республиканского противотуберкулезного диспансера. Интенсивные показатели рассчитывались на среднегодовую численность населения в соответствующих возрастно-половых группах, которая была взята из формы 4РН «Среднегодовая численность населения по полу и возрасту за 2009 год» Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по ЧР. Переменные величины представлены в виде интенсивных и экстенсивных коэффициентов, полученные результаты рассматривались как статистические значимые при $p \le 0,05$. При анализе использовались те возрастные градации, по которым представлены данные в отчетной форме № 8. Значимость различий экстенсивных и интенсивных коэффициентов между возрастно-половыми группами оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. В 2009 г. диагноз активного ТБ в республике был установлен у 924 человек, из них в возрасте 15-64 года были 828, т.е. 89,6±1% ($p < 0,01$), мужчин – 93,2±0,97%, женщин – 80,38±2,26% ($p < 0,01$). Удельный вес мужчин, заболевших в экономически активном возрасте, достоверно больше ($t = 3,77$), чем женщин. Коэффициенты первичной заболеваемости населения ЧР представлены в табл. 1, из которой видно, что общий уровень первичной заболеваемости мужчин в возрастном интервале 15-64 года достоверно ($t = 3,77$) на 25,28% выше, чем среди населения в целом, у женщин – на 15,39%, но без достоверной разности ($t = 1,53$). Среди общего количества заболевших 99,0±0,34% (оба пола, возраст 15-64 года) приходится на ТБ органов дыхания (у мужчин – 99,5, женщин – 97,6%). В целом среди населения республики на первичную локализацию ТБ очага в органах дыхания приходится 98,16%, в РФ этот показатель составляет 96,1% (2007 г.) [2. С. 5]. Среди ТБ органов дыхания в первичной заболеваемости лидирует ТБ легких – самая эпидемически опасная локализация. Среди всех впервые заболевших ТБ легочная локализация выявлена в 97,1±0,58% ($p < 0,01$) случаев (оба пола), у мужчин – 97,7%, женщин – 95,2% (см. табл. 1). Еще более опасными в эпидемическом отношении, чем легочная локализация, являются больные с бактериовыделением, поскольку один бациллярный больной инфицирует, как минимум, 15-20 человек [2. С. 5]. Среди вновь зарегистрированных больных с положительным результатом микобактерии ТБ (МБТ+), определяемым любым методом, в возрастном интервале 15-64 года было 71,7±1,56% ($p < 0,01$) (оба пола), мужчин – 76,9±1,63% ($p < 0,01$), женщин – 56,4±3,07% ($p < 0,01$). Удельный вес мужчин с МБТ+ достоверно больше ($t = 5,9$), чем женщин. Частота выявления бактериовыделителей среди впервые выявленных больных в целом по республике практически не отличается (71,86%), в РФ показатель МБТ+ среди первичных больных в 2007 г. составил 41,5% [6. С. 59]. Первичная заболеваемость мужчин в возрастном интервале 15-64 года в 3,2 раза выше, чем женщин, при этом ТБ органов дыхания – в 3,3 раза, фиброзно-кавернозным ТБ – почти в 3,3 раза (см. табл. 1). ТБ внелегочной локализации чаще болеют женщины из-за ТБ мочеполовых органов и периферических лимфатических узлов. В 2009 г. у женщин было зарегистрировано 5 случаев

ТБ мочеполовых органов и 4 случая периферических лимфатических узлов, у мужчин – 2 и 0, соответственно. Однако ТБ внелегочной локализации как у мужчин, так и у женщин большой роли в первичной заболеваемости не играет (см. табл. 1).

Таблица 1

Первичная заболеваемость туберкулезом населения Чувашской Республики в 2009 г. (на 100 тыс. населения, $p = 0,05$)

Наименование показателя (локализация туберкулеза)	Мужчины ($P \pm m$)	Женщины ($P \pm m$)	Оба пола ($P \pm m$)
Население в возрасте 15-64 года			
Заболеваемость туберкулезом	140,75±5,66	43,62±3,01	90,11±3,13
В том числе: туберкулез органов дыхания	140,06±5,64	42,58±2,98	89,24±3,11
Из них туберкулез легких	137,56±5,59	41,54±2,94	87,5±3,08
фиброзно-кавернозный туберкулез	2,04±0,68	0,62*	1,3±0,37
туберкулез внелегочных локализаций	0,68*	1,04*	0,87*
Городские жители	113,36±6,68	43,31±3,77	75,1±3,66
Сельские жители	177,89±9,75	25,26±2,88	113,32±5,6
Все население республики			
Заболеваемость туберкулезом	112,34±4,97	37,80±2,24	72,25±2,37
В том числе: туберкулез органов дыхания	111,32±4,34	36,20±2,29	70,92±2,35
Из них туберкулез легких	108,79±4,29	34,37±2,24	68,96±2,32
фиброзно-кавернозный туберкулез	1,52*	0,42*	0,93
туберкулез внелегочной локализации	1,01*	1,59±0,48	1,32±0,32
Городские жители	91,34±5,24	37,47±3,03	61,61±2,88
Сельские жители	139,21±7,32	38,28±3,7	86,85±4,01

Примечание. *$p > 0,05$.

В возрастном интервале 15-64 года заболеваемость сельских мужчин на 57% достоверно выше ($t = 5,45$), чем городских, среди всего населения выше на 52,4% ($t = 5,32$). В женской популяции ситуация обратная. Городские женщины в возрастном интервале 15-64 года заболевают ТБ достоверно чаще ($t = 3,59$), чем сельские, в целом среди женской популяции республики уровень первичной заболеваемости городских и сельских женщин не отличается (см. табл. 1).

Показатели первичной заболеваемости ТБ в возрастно-половых группах представлены в табл. 2. Различные возрастные группы населения обладают разной степенью восприимчивости к туберкулезной инфекции [6. С. 58], поэтому коэффициенты первичной заболеваемости ТБ в возрастно-половых группах существенно отличаются. Самый высокий уровень первичной заболеваемости у мужчин в возрастной группе 45-54 года – 174,72 случая на 100 тыс. населения, что на 55% достоверно выше ($t = 4,35$), чем в среднем среди мужского населения республики, и на 24,13%, чем в возрастном интервале 15-64 года ($t = 2,33$). Максимум первичной заболеваемости женщин приходится на активный репродуктивный возраст 25-34 года (58,1 случая на 100 тыс. женщин), что корреспондируется с общероссийским показателем [2. С. 5]. Это на 53,7% достоверно выше ($t = 2,55$), чем в среднем среди женской популяции, и на 33,19%, чем в возрастном интервале 15-64 года, но без достоверной разности ($t = 1,76$). В трудоспособном возрасте во всех возрастных интервалах первичная заболеваемость мужчин ТБ выше, чем женщин. В возрастном интервале 15-24 года на 25,3% без достоверной разности ($t = 1,25$), в интервале 25-54 года – в 2,8-4,7 раза ($t > 6$). Без гендерной градации заболеваемость в возрастной группе 25-34 года составила 100,73, а в 35-44 года – 102,31 (см. табл. 2), что на 28 и 16,4% ниже, чем в РФ (коэффициент первичной заболеваемости в РФ 139,1 и 122,4, соответственно (2007 г.) [6. С. 58]).

Таблица 2

Первичная заболеваемость туберкулезом населения трудоспособного возраста Чувашской Республики в 2009 г. (p = 0,05)

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Оба пола	
	возрастная структура,% $P \pm m$	на 100 тыс. населения $P \pm m$	возрастная структура,% $P \pm m$	на 100 тыс. населения $P \pm m$	возрастная структура,% $P \pm m$	на 100 тыс. населения $P \pm m$
0-14	1,0*	6,96*	3,8±1,18	10,39±3,28	1,8±0,44	8,63±2,09
15-24	10,8±1,2	68,46±8,06	21,9±2,56	54,64±7,23	14,0±1,14	61,58±5,42
25-34	20,5±1,56	146,67±12,56	22,3±2,58	58,1±7,62	21,0±1,34	100,73±7,23
35-44	22,4±1,62	168,25±13,77	14,2±2,16	39,68±6,52	20,1±1,32	102,30±4,49
45-54	25,6±1,69	174,72±13,43	15,0±2,24	36,88±5,83	22,6±1,37	101,86±7,04
55-64	14,0±1,34	164,32±17,02	6,5±1,53	23,21±5,63	11,9±1,06	84,73±8,07
65 <	5,7±0,89	74,96±12,15	15,9±2,26	36,42±5,68	8,6±0,92	48,39±5,44
Всего	100	112,34±4,35	100	37,80±2,34	100	72,25±2,37

Примечание. *p > 0,05.

Выводы. Несмотря на то, что в первичной заболеваемости ТБ населения ЧР в последние годы наметилась тенденция к её снижению, ситуация остается напряженной. В 2010 г. заболеваемость была в 2 раза выше, чем в 1990 г. Удельный вес заболевших в экономически активном возрасте (15-64 года) составляет 89,6% (оба пола) из числа всех заболевших (мужчин – 92,2, женщин – 80,38%).Среди общего количества заболевших (оба пола, возраст 15-64 года) 99% приходится на ТБ органов дыхания, где лидерство принадлежит ТБ легких. Среди всех впервые заболевших ТБ легочная локализация выявлена в 97,1% случаев (оба пола) – самая эпидемически опасная локализация. Среди вновь зарегистрированных больных с МТБ+ в возрастном интервале 15-64 года было 71,7% (оба пола). Первичная заболеваемость мужчин в возрастном интервале 15-64 года в 3,2 раза выше, чем женщин (ТБ органов дыхания в 3,3 раза). Внелегочная локализация ТБ как у мужчин, так и у женщин в уровне первичной заболеваемости большой роли не играет. В трудоспособном возрасте во всех возрастных интервалах первичная заболеваемость мужчин ТБ выше, чем женщин. Самый высокий уровень первичной заболеваемости у мужчин в возрастной группе 45-54 года (174,72 случая на 100 тыс. населения). Максимум первичной заболеваемости женщин приходится на активный репродуктивный возраст 25-34 года (58,1 случая на 100 тыс. женщин). Таким образом, первичная заболеваемость ТБ в республике в основном регистрируется среди экономически активного населения, общие коэффициенты, рассчитанные на все население, не отражают возрастно-половых особенностей заболеваемости. В целях адресной профилактики необходим ежегодный анализ заболеваемости населения ТБ по возрастно-половым группам. Проблема ТБ в республике во многом сводится к решению проблемы ТБ легких, по половому признаку акцент в профилактических мероприятиях в настоящее время, в первую очередь, необходимо делать на мужскую часть населения.

Литература

1. Здоровье – 21: основы политики достижения здоровья для всех в Европейском регионе ВОЗ: введение. Европейская серия «Здоровье для всех». № 5 [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. Европа: сайт. URL: www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/88593/EHFA5-R/pdf.

2. *Найговзина Н.Б., Филатов В.Б., Ерохин В.В., Пунга В.В.* Туберкулез в Российской Федерации // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2009. № 3. С. 4-11.

3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2011 году: государственный доклад. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 316 с.

4. Основные показатели здоровья населения и деятельности учреждений здравоохранения Чувашской Республики в 2010 году: стат. сб. / Минздравсоцразвития ЧР, ГУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр». Чебоксары, 2011. С. 66.

5. Охрана здоровья в Чувашской Республике: стат. сб. / Минздрав ЧР. Чебоксары, 1993. С. 7.
6. *Трифонова Н.Ю., Галыгина Н.Е.* Характеристика эпидемиологической ситуации по туберкулезу в России и выявление различных форм туберкулеза // Здравоохранение. 2010. № 3. С. 57-61.

СТЕКОЛЬЩИКОВ ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры управления и экономики здравоохранения, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (mfchgu@gmail.com).
CTEKOLCHSHIKOV LEONID VASILEVICH – candidate of medical sciences, assistant professor of Managment and Economics Health Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 614.1:314.422 (470.344)
ББК Р11(2 Рос. Чув)03

Л.В. СТЕКОЛЬЩИКОВ

СРЕДНИЙ ВОЗРАСТ СМЕРТИ НАСЕЛЕНИЯ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ключевые слова: *население, средний возраст смерти, причины смерти.*

Даны анализ и оценка среднего возраста смерти (СВС) населения Чувашской Республики (ЧР) по основным ее причинам. Показано, что СВС зависит от пола и причины смерти.

L.V. STEKOLCHSHIKOV

AVERAGE AGE OF DEATH OF POPULATION IN THE CHUVASH REPUBLIC

Key words: *population, average age of death, death reasons.*

The article analyses and estimates the death average of population in the Chuvash Republic taking into account the main reasons for death. It is shown that the average age of death depends on the sex and the reason of death.

При анализе медико-демографической ситуации в регионах и в стране в целом широко используется показатель ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) при рождении как наиболее адекватная обобщающая характеристика уровня смертности во всех возрастно-половых группах населения. Такой подход обоснован тем, что ОПЖ при рождении не зависит от возрастной структуры населения и может использоваться для сравнительного анализа смертности в динамике. Вместе с тем не менее информативным является показатель СВС, который, однако, используется сравнительно редко.

Цель исследования – проанализировать СВС населения ЧР по основным причинам смерти и выработать предложения по реализации региональной демографической политики.

Материалы и методы исследования. Первичной информацией для анализа явились данные таблицы С 51 «Распределение умерших по полу, возрастным группами причинам смерти» в 2000 и 2009 гг. Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по ЧР. Статистические данные для сравнительного анализа были взяты из официальных источников [2-5]. СВС рассчитывался методом вариационной статистики, полученные результаты представлены в виде $M \pm m$ и рассматривались как статистически значимые при $p < 0{,}01$. Достоверность разности средних величин между сравниваемыми годами и по половому признаку, а также экстенсивных коэффициентов оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Общепризнано [7, 13], что повозрастные показатели смертности населения являются важными критериями здоровья населения. С повозрастными показателями смертности населения диалектически связана ОПЖ при рождении и СВС как в целом, так и от отдельных причин.

Показатели СВС по основным причинам в 2009 г. по Российской Федерации (РФ), Приволжскому федеральному округу (ПФО) и ЧР представлены в табл. 1, из которых видно, что СВС в ЧР по сравнению с ПФО по всем основ-

ным классам причин смерти больше как у мужчин, так и у женщин. У мужчин наибольшая разница по болезням органов дыхания (БОД) (на 4,3 года), инфекционным и паразитарным болезням (на 4,18 года) и внешним причинам (ВП) (на 2,5 года). У женщин, опять же, по БОД (на 7,3 года), ВП (на 4,63 года) и инфекциям (на 4,21 года). Сравнение СВС населения России и Чувашии показывает, что особенности, отмеченные при сравнительном анализе с населением ПФО, повторяются (табл. 1). Мужчины РФ заметно раньше, чем мужчины ЧР, умирают от БОД, инфекций и ВП, женщины – от БОД, ВП и инфекций (причины смерти перечислены в порядке уменьшения разницы в СВС). Более высокие показатели СВС в ЧР, чем в РФ, согласуются с ОПЖ при рождении в 2009 г., который для мужчин в России составлял 62,77, женщин – 74,64 года, в Чувашии – 62,89 и 75,28 года, соответственно [3, 5].

Таблица 1

Средний возраст смерти по основным классам причин в 2009 г., лет [3]

Классы причин смерти (МКБ – 10)	**РФ**	**ПФО**	**ЧР**	**Разница между ЧР и ПФО, РФ***
Мужчины				
Все причины	62,72	62,30	62,85	0,55/0,13
В том числе: I. Некоторые инфекционные и паразитарные болезни (A00–B99)	44,12	42,85	47,03	4,18/2,91
II. Новообразования (C00–C48)	66,11	65,36	65,71	0,35/–0,4
IX. Болезни системы кровообращения (I00–I99)	69,41	69,12	70,17	1,05/0,75
X. Болезни органов дыхания (J00–J99)	62,67	62,94	67,24	4,3/4,57
XI. Болезни органов пищеварения (K00–K93)	56,97	55,97	56,91	0,94/–0,06
XX. Внешние причины (V01–Y98)	44,92	45,15	47,65	2,5/2,73
Женщины				
Все причины	74,61	74,70	75,21	0,51/0,6
В том числе: I. Некоторые инфекционные и паразитарные болезни (A00–B99)	44,01	42,21	46,42	4,21/2,41
II. Новообразования (C00–C48)	68,42	67,31	67,65	0,34/–0,77
IX. Болезни системы кровообращения (I00–I99)	79,03	78,91	80,10	1,19/1,07
X. Болезни органов дыхания (J00–J99)	67,22	67,59	74,89	7,3/7,67
XI. Болезни органов пищеварения (K00–K93)	64,69	63,19	64,50	1,31/–0,19
XX. Внешние причины (V01–Y98)	51,55	51,06	55,69	4,63/4,14

Примечание. * Первая цифра разницы в среднем возрасте смерти между населением ЧР и ПФО, вторая цифра – между населением ЧР и РФ.

Далее более подробно рассмотрим СВС в ЧР в динамике (см. табл. 2). При сопоставлении СВС в ЧР в табл. 1 и 2 видно, что рассчитанные нами показатели частично отличаются от официальных данных. Тем не менее у нас нет оснований считать, что полученные нами результаты не точны, и в дальнейшем анализ мы будем проводить по полученным показателям. В 2000 г. по всем причинам смерти СВС женщин был больше СВС мужчин на 15,39 года ($t > 2$), в 2009 г. разница сократилась до 12,5 года ($t > 2$), разница в ОПЖ при рождении составляла 12,89 и 12,39 года, соответственно (см. табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что у мужчин с 2000 по 2009 г. СВС по всем причинам достоверно увеличился на 2,61 года, у женщин изменение статистически недостоверно. В 2000 г. наибольшая разница в СВС между мужчинами и женщинами была по БОД (13,4 года, $t > 2$), в 2009 г. – по болезням эндокринной системы (19,88 года, $t > 2$). Данное обстоятельство обусловлено тем, что СВС у женщин по болезням эндокринной системы за рассматриваемый период увеличился на 5,12 года ($t = 2,48$), а по БОД сократился на 5,23 года ($t = 5,55$).

В этой связи мы решили выяснить, не эпизодическое ли это сокращение, и рассчитали СВС женщин от БОД в 2010 г., который составил 73,25±0,67 года ($p < 0,01$). Это позволяет заключить, что произошло действительное уменьшение СВС у женщин от БОД. У мужчин таких изменений по этому классу болезней не отмечается (см. табл. 2).

Таблица 2

Показатели среднего возраста смерти (лет) населения Чувашии по основным причинам в 2000 и 2009 гг. ($p < 0,01$)

Причины смерти (МКБ- 10)	2000 г. ($M \pm m$)	2009 г. ($M \pm m$)	Разница, лет	*t*-критерий достоверности разности
Мужчины				
Все причины	57,99±0,18	60,6±0,18	2,61	10,25
В том числе: инфекционные и паразитарные болезни	44,4±1,15	47,6±1,1	3,2	2,01
новообразования	62,39±0,38	64,5±0,38	2,11	3,9
болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	57,4±2,55	55,8±3,9	–1,6	0,34
болезни системы кровообращения	66,6±0,45	68,0±0,2	1,4	2,84
болезни органов дыхания	64,62±0,38	64,9±0,4	0,28	0,50
болезни органов пищеварения	55,79±0,74	55,7±0,6	–0,09	0,10
болезни мочеполовой системы	60,93±1,82	64,3±2,0	3,4	1,25
внешние причины	43,18±0,36	46,9±0,3	3,72	7,94
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении*	60,10	62,89		
Женщины				
Все причины	73,33±0,22	73,1±0,17	–0,23	0,83
В том числе: инфекционные и паразитарные болезни	46,82±3,13	46,5±2,9	–0,32	0,07
новообразования	64,13±0,54	66,83±0,47	2,7	3,77
болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	65,56±1,51	70,68±1,4	5,12	2,48
болезни системы кровообращения	76,94±0,14	78,2±0,13	1,3	6,80
болезни органов дыхания	78,03±0,63	72,8±0,7	–5,23	5,55
болезни органов пищеварения	62,48±0,85	62,8±0,7	0,32	0,29
болезни мочеполовой системы	60,7±1,94	67,8±2,0	7,1	2,55
внешние причины	51,79±0,67	54,6±0,7	2,81	2,90
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении*	72,99	75,28		

Примечание. * Данные взяты из [6].

Кроме вышерассмотренных классов, разница в СВС между мужчинами и женщинами в 2009 г. по сравнению с 2000 г. в пользу женщин увеличилась при смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) (с 1,74 до 2,33 года, разность в СВС в 2009 г. достоверна, $t = 3,85$), болезней органов пищеварения (БОП) (с 6,69 до 7,1 года, разность для 2009 г. достоверна, $t = 7,7$), болезней мочеполовой системы (2000 г. гендерной разности в СВС не было, а 2009 г. СВС женщин больше на 3,5 года, чем у мужчин, хотя $t < 2$). Сократилась гендерная разница в СВС при смертности от ВП (с 8,61 до 7,7 года, в 2009 г. разность достоверна, $t > 2$). При инфекциях в 2000 г. женщины в среднем умирали на 2,42 года позже мужчин, а в 2009 г. умирали раньше на 1,1 года (см. табл. 2).

В период 2000-2009 гг. у мужчин достоверно увеличился СВС при смертности от инфекций, ЗНО, БСК и ВП, у женщин – при смертности от ЗНО, болезней эндокринной системы, БСК, болезней мочеполовой системы и ВП, как уже отмечалось, достоверно сократился СВС от БОД. При смертности по другим причинам у лиц обоего пола изменения статистически недостоверны (см. табл. 2).

Далее рассмотрим СВС в 2009 г. по причинам смерти внутри отдельных классов болезней.

Инфекционные болезни. *Мужчины*. В этом классе болезней у мужчин в 87,7±2,7% ($p < 0,01$) случаев причиной смерти является туберкулез, однако СВС от туберкулеза несколько выше (49,1±1,1 года, $p < 0,01$), чем в целом по болезням данного класса.

Женщины. В данном классе болезней на туберкулез у женщин приходится 57,1±7,6% ($p < 0,01$) смертности, удельный вес существенно ниже, чем у мужчин ($t = 3,77$), СВС женщин от туберкулеза такой же, как у мужчин (49,2±3,4 года, $p < 0,01$).

Современные средства профилактики и лечения инфекционных болезней позволяют свести к минимуму риск смерти от этих болезней, где, как отмечалось выше, основной упор необходимо делать на существенное снижение смертности от туберкулеза. Необходимо признать, что по снижению заболеваемости и смертности от туберкулеза в республике в последнее десятилетие многое сделано (выделяются средства, закупается новое медицинское оборудование, обучаются врачи-фтизиаторы), ЧР по этому вопросу сотрудничает с ВОЗ [10].

Принятые меры приносят свои результаты: абсолютное количество мужчин, умерших от туберкулеза с 2000 по 2009 г., сократилось на 19,6%, СВС от туберкулеза за этот же период достоверно ($t = 2,04$) возрос на 2,94 года (в 2000 г. СВС мужчин составлял 46,16±0,9 года, $p < 0,01$). Но усилия, несомненно, необходимо наращивать, особенно в отношении смертности от туберкулеза органов дыхания, поскольку именно эта локализация инфекции превалирует в структуре смертности от туберкулеза (в 2009 г. 87,6±2,66% лиц ($p < 0,01$) умерли от этой формы туберкулеза). Совершенно очевидно, что сокращение смертности от туберкулеза между 2000 и 2009 гг. привела к увеличению СВС у мужчин по всему классу инфекционных и паразитарных болезней (см. табл. 2).

Другой инфекцией, приводящей к ранней смерти населения Чувашии, является ВИЧ-инфекция, особенно у женщин (удельный вес у женщин, умерших в 2009 г. от этой инфекции, составил 16,6% от всего класса инфекционных болезней, в том числе в возрасте до 50 лет 11,9%). Совершенно очевидно, что необходимо улучшить качество профилактики ВИЧ- инфекции в республике.

Новообразования. *Мужчины*. В классе новообразований наименьший СВС у мужчин при лейкемии (49,2±4,5 года, $p < 0,01$), наибольший – при раке мочевого пузыря (73,6±2,46 года, $p < 0,01$), далее (по уменьшению) рак прямой кишки (69,9±1,37 года, $p < 0,01$) и ободочной кишки (68,0±1,8 года, $p < 0,01$). После лейкемии наименьший СВС при опухоли предстательной железы (61,3±1,65 года, $p < 0,01$). По другим локализациям опухоли – СВС между 62,6±1,8 года, $p < 0,01$ (рак пищевода) и 65,9±1,0 года, $p < 0,01$ (рак желудка).

Женщины. Рак шейки матки у женщин при ЗНО раньше других локализаций опухоли становится причиной смерти (СВС 55,5±2,9 года, $p < 0,01$), далее следуют ЗНО ободочной кишки (60,01±1,69 года, $p < 0,01$) и лейкемия (61,2±3,94 года, $p < 0,01$). СВС у женщин при лейкемии достоверно больше, чем у мужчин ($t = 2,15$). Так же, как и у мужчин, у женщин наиболее поздно опухоль возникает в мочевом пузыре (СВС 77,9±3,16 года, $p < 0,01$). От рака мочевого пузыря женщины умирают на 4,3 года позже, чем мужчины, разница существенна, но недостоверная ($t = 1,0$) из-за небольшого количества случаев (мужчин от этой локализации опухоли в республике в 2009 г. умерло 30 человек, женщин – 12, при расчете СВС это дает относительно большую среднюю ошибку средней арифметической). Далее в порядке убывания СВС у женщин следуют рак пищевода (72,8±2,9 года, $p < 0,01$), печени, желчного пузыря и желчных протоков (72,5±1,62 года, $p < 0,01$), желудка (71,0±1,35 года, $p < 0,01$). При этих локализациях опухоли СВС у женщин достоверно ($t > 2,0$) больше, чем у мужчин. При ЗНО

поджелудочной железы мужчины в среднем умирают достоверно раньше, чем женщины (СВС 63,5±1,5 против 69,0±1,71 года, $p < 0,01$, $t = 2,41$). Более достоверно низкий (на 5,4 года, $t = 3,77$) СВС у мужчин, чем у женщин, при локализации опухоли в органах дыхания (трахея, бронхи, легкие). СВС мужчин при ЗНО органов дыхания 63,8±0,58 года ($p < 0,01$), женщин – 69,2±1,31 года ($p < 0,01$).

Это связано, конечно, с более высоким уровнем распространения курения среди мужчин, чем среди женщин. По литературным данным, в мужской популяции этой пагубной привычке подвержены 57,4-70%, а в женской – 22,9-30% населения [8, 9], а с курением табака связывают возникновение 70-90% случаев рака легких [12]. Табакокурение, видимо, является причиной и более ранней смерти мужчин по сравнению с данным показателем среди женщин при раке мочевого пузыря и поджелудочной железы, о чем говорилось выше. С употреблением табака ассоциируют 20-55% случаев опухолей мочевого пузыря и 20-45% случаев ЗНО поджелудочной железы [12].

Болезни эндокринной системы. *Мужчины*. При болезнях эндокринной системы смертность мужчин на 84,6±7,0% ($p < 0,01$) случаев обусловлена сахарным диабетом (СД), при этом СВС при СД составляет 60,9±3,5 года ($p < 0,01$), что на 5,1 года выше, чем в целом по данному классу болезней.

Женщины. У женщин в классе болезней эндокринной системы СД определяет 89,3±3,6% смертности (разность в удельном весе между мужчинами и женщинами недостоверна, $t < 2,0$). Однако СВС женщин от СД почти на 10 лет достоверно больше ($t = 2,62$), чем СВС мужчин (70,8±1,4 против 60,9±3,5 года, $p < 0,01$).

Болезни системы кровообращения (БСК). *Мужчины*. При БСК мужчины наиболее рано умирают от ревматической болезни сердца (РБС) (55,9±2,1 года, $p < 0,01$), намного позднее (на 15 лет) и достоверно ($t = 7,0$) при цереброваскулярных болезнях (ЦВБ). От ишемической болезни сердца (ИБС) мужчины в среднем умирают в 69,5±0,3 года ($p < 0,01$), от гипертонической болезни (ГБ) – в 68,9±1,6 года ($p < 0,01$), от острого инфаркта миокарда (ОИМ) – в 66,1±1,0 года ($p < 0,01$).

Женщины. В классе БСК женщины так же, как и мужчины, наиболее рано умирают от РБС, но на 14 лет позже мужчин ($t = 5,57$). СВС женщин от этой патологии 69,9±1,38 года ($p < 0,01$). ОИМ у женщин случается на 8,1 года позже ($t = 6,0$), чем у мужчин, в 74,2±0,9 года ($p < 0,01$), ГБ на 8,6 года ($t = 4,62$) позже становится причиной смерти, в 77,0±0,95 года ($p < 0,01$), ЦВБ приводит к смерти женщин на 7,4 года ($t = 7,96$) позже, чем мужчин, в 78,3±0,2 года ($p < 0,01$).

Болезни органов дыхания (БОД). *Мужчины*. Бактериальная пневмония (БП) у мужчин наиболее рано становится причиной смерти, в 51,4±2,0 года ($p < 0,01$), пневмония без уточнения возбудителя также существенно сокращает жизнь мужчин, СВС 55,1±0,7 года ($p < 0,01$). При бронхиальной астме (БА) мужчины в среднем умирают в 69,6±2,9 года ($p < 0,01$). Хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ) пульмонологи относят к заболеваниям с высоким уровнем социального бремени [14], вместе с тем при ХОБЛ у мужчин СВС наиболее высокий (73,0±0,4 года, $p < 0,01$) не только в классе БОД, но и среди всех причин смерти, за исключением рака мочевого пузыря.

Женщины. У женщин в классе БОД наименьший СВС при пневмонии без уточнения возбудителя (61,0±1,9 года, $p < 0,01$), при этом на 5,9 года больше, чем у мужчин ($t = 2,91$). Смерть от БП у женщин случается в среднем в 63,5±1,9 года ($p < 0,01$), что на 12,1 года превышает СВС мужчин от этой болезни ($t = 2,81$), от БА женщины в среднем умирают в 75,1±1,9 года ($p < 0,01$), превышение над мужчинами 5,5 года ($t = 1,58$ из-за малого количества случаев). При ХОБЛ женщины в среднем живут на 5,8 года дольше мужчин (СВС 78,8±0,5 года, $p < 0,01$, разность СВС у женщин по сравнению с таковой у мужчин достоверна, $t = 9,0$).

Болезни органов пищеварения (БОП). *Мужчины*. В классе БОП панкреатит наиболее рано является причиной смерти мужчин, СВС 50,8±1,8 года ($p < 0,01$), алкогольная болезнь печени (АБП) и цирроз печени (ЦП) также на много лет сокращают жизнь мужчин. При этих болезнях СВС мужчин 52,0±3,1 и 54,3±0,8 года ($p < 0,01$), соответственно. Безусловно, здесь сказывается высокая алкоголизация населения. По литературным данным, в стране на взрослого человека приходится 14-15 л чистого алкоголя [1], по оценкам экспертов – 16-17 л на душу населения [11]. Необходимо отметить, что уровень употребления чистого алкоголя 8 л на душу населения экспертами ВОЗ оценивается как недопустимо высокий [15].

Женщины. От АБП женщины умирают несколько раньше мужчин, СВС 50,9±3,0 года ($p < 0,01$), хотя разница статистически недостоверная ($t < 2,0$). ЦП у женщин является причиной смерти в среднем в 60,1±0,8 года ($p < 0,01$), что на 5,8 года позже, чем у мужчин ($t = 5,12$). Болезни печени на 5,2 года больше сокращают жизнь мужчин по сравнению с женщинами ($t = 4,4$), СВС мужчин при этой патологии 53,8±0,7 против 59,0±0,8 года ($p < 0,01$) у женщин. В классе БОП наибольшая разница в СВС между женщинами и мужчинами при смерти от язвенной болезни желудка (ЯБЖ), которая составляет 13,8 года ($t = 3,82$), у женщин СВС при ЯБЖ 74,2±2,6 против 60,4±2,5 года ($p < 0,01$) у мужчин.

Внешние причины смерти (ВП). *Мужчины*. Согласно проведенным расчетам, при ВП (травмы, отравления, самоубийства, убийства) мужчины в среднем погибают в очень молодом возрасте. Так, мужчины-автомобилисты, пострадавшие в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), погибают в среднем в 35,6±1,3 года ($p < 0,01$), мужчины-пешеходы – в 40,1±2,0 года ($p < 0,01$), случайные утопления в среднем происходят в 40,8±1,5 года ($p < 0,01$), убийства – в 42,9±1,5 года ($p < 0,01$). Чуть позже происходят случайные падения (46,8±1,7 года, $p < 0,01$), случайные удушения (48,9±1,2 года, $p < 0,01$), случайные отравления алкоголем (50,8±0,6 года, $p < 0,01$).

Женщины. Женщины в автомобиле, пострадавшие в ДТП, так же, как и мужчины, погибают в молодом возрасте, СВС 36,3±2,4 года ($p < 0,01$) без статистически достоверной разности с мужчинами ($t < 2,0$). Нет статистически достоверной разности с мужчинами в СВС у женщин и при случайных падениях ($t < 2$), СВС у женщин 50,5±3,4 года ($p < 0,01$), при случайном удушении СВС у женщин 45,9±4,3 года ($p < 0,01$).

При других ВП женщины погибают достоверно позже мужчин. Так, пешеходы-женщины, пострадавшие в ДТП, погибают на 10,25 года позже мужчин (СВС женщин 50,35±4,3 года, $p < 0,01$, $t = 2,88$), утопления у женщин случаются в среднем на 10,5 года позже (СВС женщин 51,3±4,5 года, $p < 0,01$, $t = 2,21$), случайные отравления алкоголем – на 6,8 года (СВС женщин 57,6±1,2 года, $p < 0,01$, $t = 5,0$), самоубийства – на 8,4 года (СВС женщин 52,2±2,0 года, $p < 0,01$, $t = 3,96$).

Хотя от убийств женщины погибают на 5,5 года позже мужчин (СВС женщин 48,4±2,7 года, $p < 0,01$), разность статистики недостоверная ($t > 2$) опять же из-за небольшого количества случаев и относительно большой средней ошибки средней арифметической у женщин.

Выводы. СВС у мужчин ЧР в 2009 г. был существенно ниже, чем у женщин, по всем основным причинам смерти, за исключением инфекций. Как у мужчин, так и у женщин при экзогенных причинах смерти (ВП, инфекции) СВС значительно ниже, чем от причин эндогенного характера (БСК, новообразования, у женщин и при эндокринных заболеваниях). Мужчины и женщины ЧР наиболее рано погибают от ВП (ДТП, убийства, самоубийства, отравления алкоголем и другие).

Опыт анализа показывает, что оценка «вклада» той или иной патологии в показатели смертности населения исследователями оценивается не всегда

достаточно корректно. Желая подчеркнуть важность разрабатываемой темы, авторы зачастую преувеличивают влияние на формирование уровня смертности той или иной патологии. Например, в последнее время лицам обоего пола в ЧР «предпочтительнее» умереть от БСК. СВС в целом от БСК у мужчин в 2009 г. превышал ОПЖ при рождении на 5,11 года, в том числе от ГБ – на 5,51, от ИБС – на 6,61, от ЦВБ – на 8,01 года. У женщин – на 2,95, 1,72, 3,69 и 3,02 года, соответственно. Это связано с тем, что у мужчин наибольшие показатели смертности от БСК регистрируются в пожилом возрасте, а у женщин – в старческом. Так, в 2009 г. мужчин в возрастной группе 60-74 лет умерло 37,8% от всех умерших от БСК, женщин в возрастной группе 75 лет и старше – 72%. На основе анализа гендерных особенностей СВС от БСК видно, что средствами профилактически необходимо отодвинуть СВС мужчин с пожилого возраста (68 лет, см. табл. 2) на старческий (75 лет и старше), а СВС женщин можно отодвинуть еще на 5-8 лет, если ориентироваться на европейские страны.

Мужчинам ЧР «выгодно» умереть от ХОБЛ, от которой в 2009 г. они умирали на 10-11 лет позже, чем ОПЖ при рождении. От других причин население ЧР умирает значительно раньше: от БОП мужчины умирают в 58,7 года, болезней эндокринной системы – в 55,8, мочеполовой системы – в 64,3, БОД – в 64,9 года (см. табл. 2). Женщины от БОП умирают в 62,8, эндокринной системы – в 70,68 года. Поэтому утрата человеко-лет жизни от этих причин более существенна.

Чтобы правильно распределить силы и средства, в том числе бюджеты всех уровней, необходимо правильно расставить приоритеты. Предупреждение смертности от ВП является несомненным приоритетным направлением профилактики преждевременной и предотвратимой смертности в республике. Смерть мужчин в среднем в 46,9 года, а женщин в 54,6 (см. табл. 2) противоестественна.

Литература

1. *Данилевский К.Д.* Наиболее важные для России приоритеты в области здоровья населения трудоспособного возраста // Проблемы управления здравоохранения. 2010. № 5. С. 13-19.

2. Демографический ежегодник России. 2006: стат. сб. / Росстат. М., 2006. С. 392.

3. Демографический ежегодник России. 2010: стат. сб. / Росстат. М., 2010. С. 525.

4. Демографический ежегодник Чувашской Республики. 2005: стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Чувашской Республике – Чувашии. Чебоксары, 2005. С. 98.

5. Демографический ежегодник Чувашской Республики. 2010: стат. сб. / Чувашстат. Чебоксары, 2010. С. 189.

6. Демографический ежегодник Чувашской Республики. 2011: стат. сб. / Чувашстат. Чебоксары, 2011. С. 27

7. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2008 г. / под общ. ред. А.Г. Вишневского и С.Н. Бобилева. М.: Сити-Принт, 2009. С. 208

8. *Илькович М.М., Кубузова Н.А., Киселева Е.А.* Борьба с табакокурением как основа профилактики хронической обструктивной болезни легких // Пульмонология. 2010. № 2. С. 37-39.

9. О некоторых итогах обследования населения отдельных регионов Российской Федерации по вопросам употребления табака, алкоголя и наркотиков / *И.А. Збарская, О.И. Антонов, Т.О. Коник и др.* // Вопросы статистики. 2010. № 5. С. 68-74.

10. О состоянии здоровья населения Чувашской Республики в 2010 году: государственный доклад: утв. постановлением Кабинета министров Чувашской Республики от 17.06.2011 г. № 243. Чебоксары: ГУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр» Минздравсоцразвития ЧР, 2011. С. 24-25.

11. *Онищенко Г.Г.* О мерах по снижении масштабов употребления алкоголя как одного из условий формирования здорового образа жизни // Здравоохранение РФ. 2010. № 3. С. 3-9.

12. Профилактика злокачественных опухолей / под ред. Д.Г. Заридза; ВНИИМИ. М., 1987. С. 72.

13. *Тихонова Г.И., Горчакова Т.Ю.* Смертность и продолжительность жизни населения трудоспособного возраста в России: методы и результаты исследования // Мед. труда и промышленная экология. 2010. № 3. С. 1-6.

14. *Чучалин А.Г.* Хроническая обструктивная болезнь легких и сопутствующие заболевания // Пульмонология. 2008. № 2. С. 5-14.
15. IARC. Alcohol Drinking. IARC Monograph on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans. Lyon, 1988. Vol. 44.

СТЕКОЛЬЩИКОВ ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ. См. с. 520.

УДК 616.127-005.8-002.4
ББК Р410.140.45

Г.Ю. СТРУЧКО, И.С. СТОМЕНСКАЯ, О.Ю. КОСТРОВА,
С.О. ВАСИЛЬЕВА, В.Н. СТЕПАНОВ, И.В. СТЕПАНОВА

МАРКЕРЫ НЕКРОЗА МИОКАРДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЙ СЕГМЕНТА ST У БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ ИНФАРКТОМ МИОКАРДА

Ключевые слова: *острый инфаркт миокарда, кардиоспецифический тропонин Т, объем и локализация инфаркта, сегмент ST ЭКГ.*

Количественное определение сердечных тропонинов является высокоспецифичным, высокочувствительным методом, играющим ключевую роль в постановке диагноза острого инфаркта миокарда. Исследование направлено на выявление связи между изменениями сегмента ST электрокардиограммы и подъемом концентрации кардиоспецифического тропонина Т в плазме у больных острым инфарктом миокарда с перспективой оценки объема некроза миокарда по концентрации тропонина Т. В результате исследования выявлена прямая корреляция между подъемом сегмента ST в миллиметрах и увеличением концентрации кардиоспецифического тропонина Т в плазме у мужчин. Определены локализации поражения миокарда в группах мужчин и женщин, сопровождающиеся наибольшим подъемом концентрации тропонина Т.

**G.Yu. STRUCHKO, I.S. STOMENSKAYA, O.Yu. KOSRTROVA,
S.O. VASILYEVA, V.N. STEPANOV, I.V. STEPANOVA**

MARKERS OF MYOCARDIAL NECROSIS ACCORDING TO ST SEGMENT CHANGES IN PATIENTS WITH ACUTE MYOCARDIAL INFARCTION

Key words: *acute myocardial infarction, cardiospecific troponin T, volume and location of a heart attack, the ST segment of ECG.*

The quantitative determination of cardiac troponin is a highly specific, highly sensitive technique that plays a key role in the diagnosis of acute myocardial infarction. The study aims to identify the relationship between changes of ST-segment elevation of the electrocardiogram and troponin T concentration in the plasma of patients with acute myocardial infarction, with the prospect of estimating the amount of myocardial necrosis in the concentration of troponin T. The study found a direct correlation between ST-segment elevation in millimeters and an increase in the concentration of cardiospecific troponin T in the plasma of males. It was studied the localization of myocardial damage in groups of men and women, accompanied by the rise of the largest concentrations of troponin T.

Сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертности в мире. Самая частая среди них – острый инфаркт миокарда (ОИМ) [4].

Под инфарктом миокарда понимается некроз кардиомиоцитов вследствие нарушения кровоснабжения сердечной мышцы. Патогномоничным признаком того, что в миокарде действительно произошел некроз, является повышение в крови специфических маркеров. Долгое время в этом качестве использовались ферменты – креатинфосфокиназа (КФК), миокардиальная фракция креатинфосфокиназы (МВ-КФК), лактатдегидрогеназа (ЛДГ), трансаминазы. Их активность в крови действительно повышается при гибели клеток миокарда, однако специфичность этих тестов оказалась весьма относительной. Ситуация изменилась в конце 90-х гг. прошлого века, когда в клиническую практику было внедрено определение в крови уровня сердечных тропонинов, которые обладают рядом

отличительных особенностей: уникальной аминокислотной последовательностью, высокой внутриклеточной концентрацией и длительным высвобождением из поврежденного миокарда. Все это обеспечивает высокую чувствительность и специфичность анализа, что делает определение тропонинов более ценным в диагностике повреждений миокарда. Уровень тропонинов повышается даже при очень небольших по объему инфарктах сердечной мышцы (менее 1,0 г), биохимическая диагностика которых была ранее невозможна [6].

Традиционно диагноз ОИМ, согласно рекомендациям ВОЗ (1979), основывается на трех основных постулатах: клинической картине, данных электрокардиографии, выявлении повышенной активности ферментов в сыворотке крови [4].

Согласно этим рекомендациям, диагноз ОИМ считается достоверным только в том случае, если два из вышеозначенных критериев являются бесспорными и однозначно трактуемыми [1].

По последнему (2007 г.) пересмотру рекомендаций по ОИМ с подъемом сегмента ST главным критерием постановки диагноза является наличие динамики изменения уровня биомаркеров некроза. Поэтому мы в своей работе решили проследить, каким образом меняются показатели маркеров повреждения миокарда в зависимости от изменений сегмента ST у больных с инфарктом [5].

Материалы и методы исследования. Нами были просмотрены, отобраны и статистически обработаны истории болезней 80 пациентов от 34 до 79 лет, в том числе женщин – 30%, мужчин – 70%, средний возраст которых составил 69±10 лет и 55±10 лет, соответственно. Все пациенты находились на стационарном лечении в кардиологическом отделении для больных инфарктом миокарда БУ «Республиканская клиническая больница» МЗиСР ЧР. Все пациенты были разделены на две группы: группа с подъемом сегмента ST из них мужчин – 44, женщин – 13; группа без подъема сегмента ST из них мужчин – 12, женщин – 11.

Учитывались данные следующих лабораторных и инструментальных методов исследования: ЭКГ (локализация поражения, наличие зубца Q, изменения сегмента ST, наличие нарушений ритма); биохимический анализ крови (тропонин Т, АЛТ, АСТ, МВ-КФК); общий анализ крови: (количество лейкоцитов и лейкоцитарная формула); данные эхокардиографии (наличие зон гипокинезии миокарда).

Для определения уровня тропонинов в крови использовался иммунохимический экспресс-анализатор Cobas h 232, предназначенный для измерений содержания кардиомаркеров тропонина Т, миоглобина, маркера тромбоза Д-димера и маркера сердечной недостаточности МТ pro BNP при проведении иммунологических тестов в цельной гепаринизированной венозной крови с использованием специально разработанных тест-полосок. Принцип действия анализатора основан на фотометрическом определении изменения коэффициента отражения аналитической зоны тест-полосок, имеющих специальный код. Точность измерений обеспечивается тем, что каждая упаковка тест-полосок содержит кодовый чип, на котором сохранена вся специфичная для теста и серии тест-полосок информация. Диапазон измерения тропонина Т составляет от 30 до 2000 нг/л. Концентрация тропонина, имеющая диагностическую значимость для идентификации инфаркта миокарда, – 100 нг/л. Статистическая обработка полученных данных проведена методом вариационной статистики. Для выявления статистической значимости различий использовался критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,01$.

Результаты исследования и их обсуждение. На фоне подъема сегмента ST средняя концентрация тропонина Т в плазме составила 574±24 нг/л у мужчин и 387±164 нг/л у женщин. При этом лейкоцитоз наблюдался у 44% мужчин с подъемом сегмента ST и у 46% женщин с подъемом сегмента ST ($p < 0,01$). У мужчин без подъема сегмента ST уровень тропонина – 199±33 нг/л, у женщин – 237±51 нг/л ($p < 0,01$). Наличие повреждения также подтверждено данными эхокардиографии: у всех пациентов обнаружены зоны гипокинезии миокарда.

В группе мужчин с подъемом сегмента ST наблюдался ОИМ левого желудочка следующих локализаций: нижней стенки (34%), передней стенки и высоких отделов (30%), нижнезаднебазальной стенки (16%), нижнепереднебоковой стенки (9%), передней стенки (7%), боковой стенки (2%) и циркулярный инфаркт (2%). Максимальные значения уровня тропонина Т в плазме (1514 нг/л) обнаруживались при локализации участка некроза на передней стенке левого желудочка с распространением на высокие отделы.

В группе женщин с подъемом сегмента ST наблюдался ОИМ левого желудочка следующих локализаций: нижнезаднебазальной стенки (31%), передней стенки с распространением на высокие отделы (23%), циркулярный инфаркт (23%), нижней стенки с распространением на переднебоковую стенку (15%), нижней стенки (8%). Максимальное увеличение тропонина в плазме (999 нг/л) выявлялось при локализации участка некроза на нижнезаднебазальной стенке левого желудочка, а также при циркулярном инфаркте.

ОИМ у женщин встречается в более позднем возрасте (от 56 до 79 лет), чем у мужчин (от 34 до 79 лет), что может быть обусловлено изменением гормонального фона в постменопаузальном периоде [3].

Проанализировав локализации инфарктов, сопровождающихся наибольшим повышением концентрации тропонина Т в крови, мы выявили следующую закономерность: в группе женщин – это локализация очага на нижнезаднебоковой стенке левого желудочка, что соответствует нарушению кровоснабжения в бассейне правой коронарной артерии. В группе мужчин – инфаркт передней стенки левого желудочка с распространением на высокие отделы, причиной которого является нарушение перфузии в передней межжелудочковой артерии, являющейся ветвью левой коронарной артерии. Следовательно, у женщин сердце кровоснабжается в основном за счет правой коронарной артерии, которая несет наибольшую функциональную нагрузку и, в случае ее окклюзии, развивается инфаркт большей площади. Подтверждением этому заключению является исследование, в ходе которого было доказано наличие половых различий в кровоснабжении миокарда. Левая и передняя нисходящая артерии у женщин меньше независимо от размеров их тела. Это доказано ангиографическими исследованиями и аутопсийным материалом, а также проведением внутрисосудистого ультразвукового исследования, где были выявлены меньшие по сравнению с таковыми у мужчин диаметры левой и передней нисходящей артерии у женщин [1].

У мужчин и женщин с ОИМ с подъемом сегмента ST концентрация тропонина Т в плазме крови превышает его уровень у пациентов без подъема сегмента ST. При этом подъем сегмента ST в мм в различной степени коррелирует с содержанием тропонина Т в плазме во всех исследуемых группах. Особенно четко связь между подъемом сегмента ST и уровнем тропонина прослеживается в группе мужчин, где коэффициент корреляции составил 0,5 с достоверностью $p < 0,01$. Это свидетельствует о том, что уровень тропонина Т в плазме указывает на объем пораженной ткани. Данный тезис подтверждается исследованием, где была выявлена связь между уровнем тро-

понина Т и массой пораженного миокарда путем проведения ядерной магнитно-резонансной томографии у больных ОИМ с подъемом сегмента ST [7].

Таким образом, наше исследование показывает, что ОИМ у женщин встречается в более позднем возрасте, чем у мужчин. У пациентов с ОИМ с подъемом сегмента ST концентрация тропонина Т в плазме крови превышает его уровень у пациентов без подъема сегмента ST. Уровень тропонина Т в различной степени коррелирует с подъемом сегмента ST в мм.

Литература

1. *Гибрадзе Н.Т., Дворецкий Л.И., Черкасова Н.А.* Особенности ишемической болезни сердца у женщин // Бюллетень научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН сердечно-сосудистые заболевания. 2011. Т. 12, № 5. С. 5-12.

2. Диагностика и лечение больных острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST ЭКГ / *М.Я. Руда, С.П. Голицын, Н.А. Грацианский и др.* // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2007. Т. 6, № 8. Прил. 1.

3. Женское лицо ишемической болезни сердца: метаболический и психологический статус пациенток разного возраста с острым инфарктом миокарда / *О.В. Цыганкова, З.Г. Бондарева, Е.Л. Федорова и др.* // Фундаментальные исследования. 2010. № 11. С. 133-137.

4. *Сапрыгин Д.Б.* Кардиоспецифические тропонины: значение в диагностике, стратификации риска и прогнозе острого коронарного синдрома. 1. Диагностическое значение традиционных и современных маркеров миокардиального повреждения // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. 2003. № 2. С. 65-70.

5. Сердечные тропонины Т и I в диагностике острого инфаркта миокарда / *Ю.А. Васюк, О.В. Крикунова, А.М. Яковчук и др.* // Медицина критических состояний. 2008. № 3. С. 26-30.

6. *Шпектор А.В., Васильева Е.Ю.* Новые диагностические критерии инфаркта миокарда (комментарии к «универсальному определению инфаркта миокарда», опубликованному в № 5, 2008) // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2009. Т. 5, № 1. С. 112-113.

7. *Giannitsis E., Steen H., Kurz K.* Cardiac Magnetic Resonance Imaging Study for Quantification of Infarct Size Comparing Directly Serial Versus Single Time-Point Measurements of Cardiac Troponin T // Journal of the American College of Cardiology. 2008. Vol. 51, № 3.

СТРУЧКО ГЛЕБ ЮРЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой функциональной и лабораторной диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (glebstr@mail.ru).

STRUCHKO GLEB YUREVICH – doctor of medical sciences, professor, head of Functional and Laboratory Diagnostic Chair , Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СТОМЕНСКАЯ ИРИНА СТАНИСЛАВОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры функциональной и лабораторной диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (irina.stomenskaja@gmail.com).

STOMENSKAYA IRINA STANISLAVOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Functional and Laboratory Diagnostic Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

КОСТРОВА ОЛЬГА ЮРЬЕВНА – ассистент кафедры функциональной и лабораторной диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (evkbiz@yandex.ru).

KOSRTROVA OLGA YURYEVNA – assistant of Functional and Laboratory Diagnostic Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ВАСИЛЬЕВА СОФЬЯ ОЛЕГОВНА – студентка VI курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (son4ik90@mail.ru).

VASILYEVA SOFYA OLEGOVNA – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СТЕПАНОВ ВАЛЕНТИН НИКОЛАЕВИЧ – студент VI курса медицинского факультета, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (valek_doctor@mail.ru).

STEPANOV VALENTIN NIKOLAYEVICH – student of Medical Faculty, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

СТЕПАНОВА ИРИНА ВИТАЛЬЕВНА – врач-кардиолог высшей категории, Республиканский кардиологический диспансер, Россия, Чебоксары.

STEPANOVA IRINA VITALYEVNA – cardiologist of the highest category, Republican Cardiology Clinic, Russia, Cheboksary.

УДК 616-092.11:13
ББК Р410.210.82

В.Л. СУСЛИКОВ, Н.В. ТОЛМАЧЕВА, Е.В. АЛЕКСАНДРОВ

АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ ФЕНОМЕНА ДОЛГОЖИТЕЛЬСТВА

Ключевые слова: *причинность, причина, следствие, долгожительство, старение, антистарение.*

Рассмотрены два различных подхода к анализу понятия причинно-следственных связей процесса «старение↔антистарение». Показана сущность диалектического понимания, которая состоит в признании взаимодействия как основы причинно-следственной связи. Впервые в настоящем исследовании даётся новое философское определение категориям «старение», «антистарение».

V.L. SUSLIKOV, N.V. TOLMACHYOVA, E.V. ALEXANDROV

ANALYSIS OF CAUSE-EFFECT RELATIONS OF «AGING↔ANTIAGING» PROCESS

Key words: *causality, cause, effect, condition, aging, antiaging.*

Two different approaches to the analysis of causal relation's notion: metaphysical and dialectical, were considered. The essence of dialectical understanding, consisting of interactions' recognition as the base of cause-effect relation, was shown. For the first time in the present investigation the new philosophical definition of categories «aging», «antiaging» is given.

Современная отечественная медицина признает детерминированность всех патологических процессов. Имеется весьма обширная литература по вопросу о причинности в медицине [2, 3, 5-7, 13, 20, 21]. На первый взгляд создаётся впечатление об единодушии отечественных философов и теоретиков медицины в выборе исходных позиций анализа проблемы: все ссылаются на диалектико-материалистическую методологию. Однако на деле оказывается, что теоретическая трактовка принципа причинности является вовсе не однозначной. Многие важные для теоретической и практической медицины стороны проблемы причинности, в частности роль внутреннего и внешнего причинного основания в возникновении и течении болезней и старения, разграничение причинных и условных форм, причинно-следственных связей, трактуются ошибочно. Сам термин «причинность» в медицинской научной литературе употребляется в различных значениях: причинность отождествляется с классическим детерминизмом, предсказуемостью, связью состояний, а категории «причина», «следствие» и «условие», раскрывающие сущность причинности, медиками практически не используются или используются в бытовом значении.

Феномен долгожительства издавна привлекал пристальное внимание ученых различных отраслей знаний. На самых ранних этапах становления науки исследованием явления долгожительства занялись медики. В рамках медицины выделилась даже специальная наука «геронтология» (от греч. *geraios* – старый, *logos* – учение), изучающая закономерности и механизмы проявления старения, устанавливающая влияние среды и социально-гигиенических факторов на ход возрастных изменений. Часть геронтологии составляет гериатрия – научная дисциплина, посвящённая изучению особенностей развития, течения, диагностики, лечения и профилактики заболеваний в пожилом и старческом возрасте.

Численно возрастающие группы пожилых и старых людей, потребности экономики стали всё настойчивее требовать от науки увеличения продолжительности активной жизни людей. Геронтология стала всё чаще выходить за рамки собственно медицины в такие новые отрасли знаний, как этнография,

антропология, микробиология и экологическая физиология. О необходимости комплексного подхода к изучению феномена долгожительства заявили А.А. Зубов и В.И. Козлов в 1982 г. [9], благодаря которым стало возможным осуществление совместной работы отечественных и американских этнографов, антропологов и медиков по теме «Комплексное биолого-антропологическое и социально-этнографическое исследование народов и этнических групп с повышенным процентом долгожителей».

Одним из древнейших объяснений главной причины старения как явления, присущего живым организмам, явилось учение о «жизненной силе» («энтелехия» Аристотеля), которая имеет тенденцию только растрачиваться со временем для любого живого организма. По М. Бюргеру (1957), эта энтелехия проявляется в виде двух зачатков – жизни и смерти. Эти представления послужили основой развития теорий «изнашивания» организмов – от К. Мопа (1888) и Р. Гертвинга (1914), считавших, что «организм изнашивается как машина, до современных теорий изнашивания, искавших конкретный материальный субстрат такого «изнашивания» на уровне генов, клеток [2].

С развитием современной узкоспециализированной науки критика общих представлений как «идеалистических» сменилась грубым материализмом, сводящим часто причину, проявляющуюся как общее, к её частным конкретным манифестациям.

Особого внимания заслуживают высказывания В.И. Донцова с соавт. о том, что большое число работ, претендовавших на открытие фундаментальных причин и механизмов старения, к сожалению, имеют сугубо исторический интерес [8]. Во многих случаях эти работы запутывали существо вопроса, так как в основу рассмотрения ставили частные вопросы, которым придавали незаслуженно общее звучание.

Так, фактически все теории, отводящие главную роль в старении химическим изменениям – «порче» белков, ДНК, коллоидов, а также теория Рубнера, утверждавшая, что количество энергии, перерабатывающейся в течение всей жизни одним килограммом массы тела разных животных, – одинаково; теории о «часах жизни» и расходовании «жизненного элемента» – фермента (Шмальгаузен), гена (Сциллард), зародышевой плазмы, дифференцированных клеток; теории о происхождении старения в эволюции как приспособительного механизма (Вейсмана); общие теории старения и развития, сводящие старение к определённой программе развития, в том числе к «генам смерти» или к запрограммированности количества делений для каждой клетки (теория Хейфлика); наблюдения Карреля, указывавшего на «бессмертие» делящихся клеток; представления Майнота, связывавшего дифференцировку клеток с их гибелью, а также и многие другие, как древние, так и самые современные теории, не учитывают главное свойство живого – самообновление организма и клеток. В то же время, как отмечали В.И. Донцов с соавт., ряд представлений, касающихся конкретных проявлений старения и не претендовавших на глобальность, вылились в популярные методы оздоровления [8]. Так, теория аутоинтоксикации И.И. Мечникова вызвала увлечение йогуртами, диетами и энтеросорбентами и т.п. Однако все претензии исследователей на создание общих теорий старения оказались полностью несостоятельными. Это не удивительно, по мнению В.И. Донцова, так как методологически не верно сводить общие закономерности и принципы сущности старения к отдельным механизмам и проявлениям – к частностям сложного явления старения. Однако авторы не смогли преодолеть эту методологическую ошибку при анализе как общих, так и частных закономерностей физиологии старения.

Расшифровывая каждую из указанных выше причин, В.И. Донцов с соавт. представляют главные механизмы, определяющие проявления каждой причины, на биохимическом, клеточном и органном уровнях, которые, по нашему мнению, не имеют существенных различий [8]. Более того, авторы делают ошибочный вывод о том, что «общей фундаментальной причиной старения является дискретность форм существования современных организмов на Земле – отграниченность их от внешней среды. Это ставит предел способности к внутренней эволюции с сохранением их качества как отдельной системы. В основе данного явления лежит один из главных законов природы – второй закон термодинамики, указывающий на неизбежность накопления хаоса в любой частично открытой отграниченной от внешней среды системе».

Обосновывая новую иммунную теорию старения, В.И. Донцов с соавт. основное внимание обратил на систему клеток-регуляторов пролиферации – КРП-систему, которая является филогенетически древней и её свойства проявляются по общему правилу, известному в биологии, для малодифференцированных клеток, каковыми являются стволовые клетки и клетки-предшественники дифференцированных типов тканей [8].

Определённый интерес представляют экспериментальные данные В.И. Донцова с соавт. о том, что цинк удлинял реакцию гиперплазии и затруднял обратную атрофию ткани слюнных желёз вследствие блокирования Т-супрессоров. Влияние ионов цинка в больших дозах на иммунный ответ связывают с влиянием на ионы кальция. Прямое участие ионов кальция в активации КРП можно было наблюдать по активному поглощению ^{45}Ca изотопа выделенными клетками КРП. Эффекты на гиперплазию ткани слюнных желёз были получены с использованием лития и других биологически активных веществ, таких, как гистамин, серотонин и ингибиторов моно- и диаминооксидаз [8].

На основании комплексных многолетних исследований В.И.Донцов с соавт. пришли к заключению о том, что старение – это сложный феномен целостного организма, результат реализации наследственных программ его развития. Описывать теоретически старение можно только с позиции общих теорий – **теория систем** является наиболее удобной из имеющихся в настоящее время.

По мнению В.М. Дильмана, проявления старения у высших животных, включая человека, столь многообразны, что обычно интуитивно отвергается идея о наличии какой-то одной или даже ведущей причины возникновения возрастных изменений [6]. В формировании старения действует четырёхкомпонентный механизм. В пределах этого комплексного механизма находят своё место различные теории старения, такие, как клеточные и системные, вероятностные и запрограммированные. Причём теория соматических мутаций, теория накопления ошибок, теория свободных радикалов, теория сшивки макромолекул, теория накопления липофусцина и теория износа относятся к аккумуляционному механизму старения с выходом на онтогенетическую модель.

Заслуживает внимания позиция R.G. Cutler о том, что старение следует рассматривать как процесс «старение↔антистарение» [20], хотя такое представление было высказано ранее В.В. Фролькисом [18].

Если исходить из представления о феномене долгожительства как о процессе «старение↔антистарение», единой мерой, определяющей как скорость регуляторного старения у отдельного индивидуума, так и различия в максимальной продолжительности жизни у отдельных видов с близкими физиологическими характеристиками (например, у млекопитающих), является, по мнению В.М. Дильмана, скорость выполнения закона отклонения гомеостаза или, что почти одно и то же, скорость возрастных гипоталамических изменений. Поэтому

в гериартрии клеточно-молекулярные основы феномена долгожительства не позволяют полностью воссоздать процесс в целом, оставляя вне рассмотрения системы организма, функционирующие по своим собственным закономерностям, которые лишь в скрытой форме определяются молекулярными явлениями [6].

Проанализировав все положения конкурирующих теорий старения, В.М. Дильман предпринял попытку воссоздать интегральный механизм старения, при этом автор подчеркнул, что такая попытка была бы безнадёжной, если бы отсутствовали и не учитывались эндогенный, онтогенетический и системный механизмы старения с позиций теории естественного отбора в процессе эволюции. Автор пришёл к выводу о том, что процессы антибиостарения не могли в ходе эволюции достигнуть такого уровня, при котором бы предотвращалось накопление повреждений и тем самым устранялись аккумуляционные причины старения, так как такое развитие событий не давало бы преимуществ при естественном отборе вследствие того, что предел максимальной (видовой) продолжительности жизни устанавливается онтогенетическими механизмами. Онтогенетические по происхождению болезни не только закономерны, но и являются своеобразным венцом эволюции. Естественный отбор всегда направлен на увеличение продолжительности жизни, так как чем дольше проживает данная особь, тем вероятнее, что она оставит больше потомства с генами, определяющими способность к большей продолжительности жизни. Таким образом, естественный отбор не должен благоприятствовать старению. Между тем старение реально существует. При рассмотрении этого противоречия между ожидаемым направлением действия естественного отбора и его реальным результатом прежде всего требуется объяснить, почему вообще явление старения не было элиминировано (устранено) в процессе естественного отбора.

Исследуя закономерности исторических тенденций в изменении средней и максимальной продолжительности жизни, В.М. Дильман обратил внимание на то обстоятельство, что максимальная и потенциально максимальная (видовая) продолжительность жизни остаётся стабильной в течение всего исторически обозримого периода наблюдений. Максимальная зарегистрированная величина последней у человека составила 113 лет 214 дней (цит. по J. Fries [21]). Согласно расчётам, выполненным J. Fries (1983), реальная средняя продолжительность жизни жителей США достигнет 85 лет, затем наступит новый период, в котором будет преобладать естественная смерть, т.е. смерть от старости. На основании изучения графиков изменения кривых выживания населения США в XX столетии, В.М. Дильман пришёл к весьма интересному выводу о том, что старение – это болезнь, в которой сочетаются все четыре модели формирования главных болезней [6].

Теоретические рассуждения В.М. Дильмана о том, что теория онтогенетической модели медицины показывает, что чем более средняя продолжительность жизни, тем выраженнее будет бремя болезней у индивидуумов, достигших 85-летнего возраста. Поэтому, если выдвигать задачу сохранения удовлетворительного состояния здоровья у людей за возраст 85 лет, необходимо увеличить предел видовой продолжительности жизни, но для этого надо глубже понимать, во-первых, чем определяются видовые лимиты жизни, а во-вторых, какую роль в лимитировании продолжительности жизни играет старение. Предлагается рассматривать старение как результат прямого отбора в пользу ограниченной продолжительности жизни, при котором в изменяющихся внешних условиях короткая продолжительность жизни окажется выгодной с позиций увеличения вероятности приспособления к меняющимся условиям среды обитания. На индивидуальном уровне отбора должен доминировать

фактор антистарения. Здесь В.М. Дильман приходит к выводу о том, что естественный отбор всегда направлен на увеличение продолжительности жизни и он не должен благоприятствовать старению.

Между тем, как отмечал В.М. Дильман, старение реально существует, но остаётся непонятным, почему старение не было устранено в процессе естественного отбора. Согласно наиболее разработанной эволюционной гипотезе, старение есть неизбежное, хотя и косвенное, следствие именно естественного отбора. Предполагается, что роль естественного отбора в определении продолжительности жизни обусловлена действием генов, эффект которых благоприятен на ранних стадиях развития (онтогенеза) и в репродуктивном периоде, несмотря на то, что действие этих же генов влечёт за собой нарушения в более позднем возрасте. Отбор всегда способствует большей жизненности в молодом возрасте даже ценой отрицательных эффектов в поздние периоды жизни. Результатом такого отсроченного (плейотропного) влияния генов и является феномен старения. Эта гипотеза считается весьма удачной, так как она описывает направление естественного отбора и одновременно позволяет объяснить возникновение биологического процесса старения и естественной смерти, не связывая эти явления с представлением об их целесообразности для эволюции видов из-за постоянной смены поколений. Однако остаётся неясным, что определяет «переключение» действия генов с полезного на повреждающий эффект.

По данным Б. Стрелера, по мере увеличения возраста у человека начиная с 20-25 лет происходит линейное снижение функций всех физиологических систем с константой 0,8-0,9% за год от уровня в возрасте 30 лет [14]. В рамках такой постановки вопроса И.А. Гехт [5] приходит к выводу о том, что истинной причиной смерти является старение, а не болезни, и что скорость гибели организмов определяется скоростью их перехода в состояние неспецифической уязвимости, когда организм быстро погибает от первой серьёзной причины [1]. Повышенная уязвимость – это не абстрактное понятие, а проявление определённых болезней, и в этом смысле не трудно заметить глубокую противоречивость в определении степени зависимости смертности от возраста. В.М. Дильман попытался объяснить это противоречие весьма оригинально, заключив, что в настоящее время эволюции человека смерти в чистом виде от старости нет, а максимальная продолжительность жизни определяется скоростью старения, так как с этой скоростью связана и интенсивность формирования главных болезней.

Наиболее диалектичным, по нашему мнению, следует считать точку зрения R. Cutler, который считает, что явление старения существует в сочетании с явлением антибиостарения, которое в процессе эволюции обеспечивает сохранение генетической информации с такой степенью надёжности, которая необходима для передачи этой информации в процессе воспроизведения [20]. Как подчёркивает R. Cutler, картина старения мало чем отличается у различных видов, существенно отличающихся по максимальной продолжительности жизни. Отсюда следует, что эти различия могут быть обусловлены степенью эффективности механизмов антистарения. В частности, в отряде приматов активность супероксиддесмутазы у шимпанзе с максимальной продолжительности жизни около 50 лет составляет около 25 ед./мг, тогда как у человека – около 40 ед./мг. Более высокая активность этого фермента у человека наблюдалась в процессе эволюции механизмов антистарения, что обеспечивает большую продолжительность человека по сравнению с приматами. Расширение видовых пределов жизни у человека, наблюдавшееся в ходе эволюции, и связь между давлением внешней среды и максимальной продолжительностью

жизни характеризуют динамичность этого явления, отсутствие генетически жёсткой фиксации его предельных лимитов. Здесь В.М. Дильман вполне диалектично обосновывает весьма важный вывод о том, что максимальная продолжительность жизни не является постоянной величиной, пределы видовой продолжительности жизни могут быть расширены за счёт воздействия прежде всего на онтогенетические, а затем и аккумуляционные механизмы. Приводя примеры экспериментального подтверждения данного вывода о том, что оптимизация пищевого рациона увеличивает в эксперименте максимальную продолжительность жизни, В.М. Дильман призывает к революционному маршу от патогенетического лечения болезней к первичной профилактике, к превентивному лечению, направленному на исправление здорового человека, что позволит заложить истинные основы научной медицины будущего. Онтогенетическая модель процесса «старение↔антистарение» выявляет и иллюстрирует диалектические взаимоотношения в организме [6].

Высоко оценивая глубокий философский анализ причинно-следственных связей в возникновении болезней, проведенный М.З. Малышевой [13], которая ограничилась только действием внутренних причинных факторов, т.е. перешла на сторону конституционализма, следует признать односторонность действия без учёта внешних факторов в системе взаимодействий вообще и в процессе «старение↔антистарение» в частности.

Как заметил В.Н. Анисимов [3], в последние годы всё большее внимание учёных и специалистов привлекает проблема вмешательства в процесс старения. Всё это свидетельствует как о возрастающем интересе общества к проблеме постарения населения, так и определённом успехе фармацевтических компаний, получающих баснословные прибыли от продаж разнообразных средств, рекламируемых как средства антистарения. Однако следует признать, что в настоящее время нет ни одного препарата, который имел бы достаточные доказательства своей эффективности. R. Anderson [19] считает, что все достижения биомедицинских исследований с ориентацией на использование препаратов против старения привели к увеличению продолжительности жизни лишь на 15 лет.

Мы полностью согласны с L. Hayflick, что увеличение продолжительности жизни можно достичь только при устранении главной причины смерти путём воздействия на детерминанты долголетия, которые до сих пор остаются непознанными [22].

Нами предпринята попытка дать новое философское определение понятиям «старение», «антистарение» как процессов борьбы причинных и антипричинных факторов, постоянно протекающих в определенных условиях среды обитания человека. Проблема, просматриваемая в историческом разрезе, хотя и не нова, нуждается в последовательном системном, поэтапном исследовании с привлечением фактических данных эпидемиологических и экспериментальных исследований [1, 2, 22]. Механистическое представление причинно-следственных связей процесса «здоровье↔болезнь» служило серьёзной помехой в разработке научно обоснованных теорий этиологии болезней и, соответственно, вносило определённые трудности в выборе адекватных лечебных и профилактических мер в практической медицине. Впервые представлена методологически обоснованная модель причинно-следственных связей процесса «старение↔антистарение». Методологической основой изучения причинно-следственных связей процесса «старение↔антистарение» является принцип эколого-биогеохимического зонирования территорий постоянного проживания населения.

Исходя из анализа многочисленных философских объяснений причинно-следственной связи процесса «здоровье↔болезнь» [2, 5, 6], которые придерживаются ошибочной точки зрения об однонаправленности действия причины, отождествляют такие категории, как «причина» и «условие», и абсолютизируют одну из категорий «внешнее» или «внутреннее», мы попытаемся дать новое философское объяснение причинно-следственных связей процесса «старение↔антистарение», более объективно отражающее действительность. По нашему представлению, причинно-следственная связь – это никогда не прекращающийся во времени и пространстве процесс противоборства причинных и антипричинных факторов, условий и антиусловий, внешних и внутренних факторов, специфических и неспецифических, случайных и необходимых, в единой системно-организованной системе биосферы, в результате которого, в соответствии с законом отрицания отрицания, с необходимостью появляется новое качество, новое явление – следствие↔антиследствие. В этом процессе при преобладании сил причинных факторов над антипричинными с диалектической необходимостью появляется новое следствие в качестве нового причинного фактора, генетически связанного со следствием, которое запускает новый процесс противоборства. А при преобладании сил антистарения над причинными с диалектической необходимостью появляется новое явление – антиследствие, противоположное следствию как возврат к прежнему качеству на новом уровне развития живой системы.

Причинно-следственные связи процесса «старение↔антистарение» позволяют уяснить диалектическую сущность процесса и окончательно утвердиться в понимании того, что старение – это процесс противоборства причинных и антипричинных факторов, при котором побеждают факторы антистарения и обеспечивается динамическое равновесие организма с окружающей природной и социальной средой. При этом все жизненно важные системы организма функционируют с максимально возможной интенсивностью и непрерывно приспосабливаются к изменяющейся природной и социальной среде в целях сохранения вида. Болезнь – это процесс противоборства причинных и антипричинных факторов, при котором при относительной слабости антипричинных факторов закономерно побеждают причинные. При этом все внутренние и внешние антипричинные факторы также непрерывно приспосабливаются в целях уничтожения вида.

Методологическая сущность процесса «старение↔антистарение», так же как и процесса «здоровье↔болезнь», довольно сложна лишь на первый взгляд, однако после расшифровки схемы причинно-следственной связи на примере разработанной нами модели станут очевидными её универсальность, закономерность и применимость для объяснения не только инфекционного процесса, но и формирования современных хронических неинфекционных процессов, в том числе и процесса «здоровье↔атеросклероз».

До наших исследований в отечественной и зарубежной научной литературе не рассматривалась возможность влияния аномальных концентраций и соотношений макро- и микроэлементов в питьевой воде и в пищевом рационе на симбиотический микробиоценоз кишечника человека, так как эти природные объекты (вода и пища) содержат ничтожно малые их количества до $n \times 1 \cdot 10^{-12}$%. Мы впервые на фактических материалах у обследованных практически здоровых жителей в возрасте от 20 до 80 лет и долгожителей в возрасте от 90 до 105 лет обнаружили и обосновали эколого-биогеохимическую детерминированность колонизационной резистентности организма, запускающий причинно-следственную связь процессов «здоровье↔атеросклероз» и «старение↔антистарение», в связи с характеристиками четырёх эколого-биогеохимических зон на территории

Чувашии, в смежных областях и республиках (Нижегородская, Ульяновская, Пензенская области, республика Мордовия, Татария и Марий Эл), а также в Белгородской области, республики Якутии-Саха, на территории которых мы проводили экспедиционные исследования. Как оказалось, все территориальные образования в пределах бывшего СССР, описанные нами ранее как кремниевые биогеохимические провинции [10], отличаются от других зон относительно высоким индексом долгожительства. Полученные нами новые данные частично согласуются с данными Л.Б. Лазебника, Е.И. Ткаченко и Л.П. Хорошининой об участии аутомикрофлоры кишечника в процессе старения организма [11, 12, 15-17].

Кремниевые биогеохимические провинции были обнаружены нами в экспедиционных условиях в пределах территории Непала, а описанная американскими учеными «зона инсультов» также была квалифицирована нами, по литературным данным, как кремниевая биогеохимическая провинция.

Многократно подтверждённая в условиях экспериментального моделирования кремниевой биогеохимической провинции причинно-следственная связь процессов «здоровье↔атеросклероз» и «старение↔антистарение» дали нам основание для философского обоснования модели этих процессов.

Главным «пусковым» причинным и антипричинным фактором в организме здорового человека является нормальная симбиотическая аутомикрофлора кишечника, сосуществующая по принципам мутализма и комменсализма в постоянном процессе борьбы за своё существование. В условиях эколого-биогеохимических аномальных уровней и соотношений макро- и микроэлементов в питьевых водах и пищевых рационах, обусловленных в кремниевых биогеохимических провинциях присутствием горных пород древних геологических периодов (меловой, юрский и девонский), большая часть (до 95%) существующей здесь микробиоты как среды обитания, так и часть эндогенной микробиоты живых организмов приспосабливается с потерей многих функций и свойств, снижением колонизационной резистентности лакто- бифидо- и колиформ бактерий, однако небольшая часть (около 5,0%) приспосабливается без потери функций и свойств. В большинстве организмов (до 95%) появляются новые формы микробов (стафилококки, грибки, паразиты, простейшие), которые постепенно, завоёвывая пространство, изменяют среду обитания микробов и макроорганизма. Новые формы микроорганизмов как следствие борьбы микроорганизмов в среде макроорганизма (организм человека) становятся главным «пусковым» причинным фактором цепной реакции микробной ферментации, нарушения процессов витаминообразования, дисбаланса иммунного статуса и аутоиммунизации, дисбаланса макро-и микроэлементов, сдвигов процессов гормонообразования и одновременно главным «пусковым» антипричинным фактором. Каждый из этих процессов имеет взаимовлияющий синергетический и антагонистический характер взаимодействия, в основе этих процессов лежат сложные комплексы приспособительных реакций адаптации, направленных на сохранение вида и одновременно на его уничтожение.

Нами была создана теоретическая модель процесса «старение↔антистарение», апробированная на примере изучения причинно-следственных связей феномена долгожительства с эколого-биогеохимическими факторами среды обитания населения. На основе созданной модели были математически рассчитаны степени дисперсии процесса с отдельными факторами среды (вода, пища), а также с социально-бытовыми факторами. Показана, что математическая и философская модель процесса «старение↔антистарение» сопряжены и позволяют конкретизировать меры первичной геропрофилактики.

Литература

1. *Абдрашитова А.Т., Панова Т.Н., Белолапенко И.А.* Генетические и экологические аспекты старых людей в нефтяной и газовой промышленности // Клиническая геронтология. 2011. № 5-6. С.45-47.

2. *Анисимов В.Н.* Молекулярные и физиологические механизмы старения. СПб.: Наука, 2003. 468 с.

3. *Анисимов В.Н.* Медицина антистарения: мифы, реальность, перспективы // Клиническая геронтология. 2006. № 12. С. 51-56.

4. *Белоусова Л.Н., Льнявина В.В.* Дисбиоз кишечника и сердечно-сосудистые заболевания // Дисбиоз кишечника: сб. / под ред. Е.И. Ткаченко, Л.Н. Суворова. СПб.: ИнформМед, 2009. С. 224-237.

5. *Гехт И.А., Артемьева Г.Б.* Постарение населения в программе охраны здоровья // Клиническая геронтология. 2011. № 11-12. С. 24-26.

6. *Дильман В.М.* Четыре модели медицины. Л.: Медицина, 1987. 288 с.

7. *Добрынин В.М., Захарченко В.М.* Микрофлора и факторы эколого-профессионального напряжения // Дисбиоз кишечника: сб. / под ред. Е.И. Ткаченко, А.Н. Суворова. СПб.: ИнформМед, 2009. С. 224-237.

8. *Донцов В.И., Крутько В.Н., Подколозин А.А.* Фундаментальные механизмы геропрофилактики. М.: Биоинформсервис, 2002. 464 с.

9. *Зубов А.А., Козлов В.И.* О комплексном подходе к изучению феномена долгожительства // Феномен долгожительства: сб. тр. М.: Наука, 1982. С. 13-23.

10. *Ковальский В.В., Сусликов В.Л.* Кремниевые субрегионы биосферы // Тр. биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 1980. Т. 18. С. 3-58.

11. *Лазебник Л.Б., Ли И.А., Дроздов В.Н.* Метаболизм липидов и микробиоценоз кишечника // Клиническая геронтология. 2011. № 1-2. С. 6-8.

12. *Лазебник Л.Б.* Гепатоциты и атеросклероз // Клиническая геронтология. 2012. № 1-2. С. 3-5.

13. *Малышева М.З.* Методологическая роль категории «причинность» для современного медико-биологического познания // Методологические проблемы медицины и биологии: сб. тр. Новосибирск: Наука, 1985. С. 86-93.

14. *Стрелер Б.* Время, клетки и старение. М.: Мир, 1964. 135 с.

15. *Ткаченко Е.И.,Успенский Ю.П.* Питание, микробиоценоз и интеллект человека. СПб.: СпецЛит-2006. 590 с.

16. *Ткаченко Е.И.* Заключение // Дисбиоз кишечника. СПб.: ИнформМед, 2009. С. 259.

17. *Хорошинина Л.П.* Геронтологические аспекты дисбиоза кишечника // Дисбиоз кишечника: сб. / под ред. Е.И. Ткаченко, А.Н. Суворова. СПб.: ИнформМед, 2009. С. 224-237.

18. *Фролькис В.В.* Старение и биологические возможности организма. М.: Наука, 1975. 222 с.

19. *Anderson R.N.* Decemial life Tables for 1989-91 // National Center for Health Statistics. 1999. Vol. 1.4. P. 7-8.

20. *Cutler R.G.* The law of deviation of homeostasis and diseases of aging (book review) // Arch. Gerontol. Geriat. 1985. Vol. 4. P. 187-188.

21. *Fries J.F.* Aging, natural death and the compression of morbidity // New Engl. J. Med. 1983. Vol. 61. P. 397-419.

22. *Hayflick L.* The future of ageing // Nature. 2000. Vol. 408. P. 267-269.

СУСЛИКОВ ВИКЕНТИЙ ЛЕОНИДОВИЧ – доктор медицинских наук, профессор кафедры профилактической медицины, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vikleosus@mail.ru).

SUSLIKOV VIKENTIY LEONEDOVICH – doctor of medical sciences, professor of Preventive Medicine Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

ТОЛМАЧЕВА НАТАЛИЯ ВИКЕНТЬЕВНА – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой профилактической медицины, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (tolmach68@mail.ru).

TOLMACHYOVA NATALIA VIKENTIEVNA – doctor of medical sciences, head of Preventive Medicine Chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АЛЕКСАНДРОВ ЕВГЕНИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ. См. с. 340.

УДК 616.441–006.6–073.432.1
ББК Р569.452–436.7

Л.А. ТИМОФЕЕВА, Т.Н. АЛЕШИНА, А.В. МАКСИМОВА

РОЛЬ КОМПЛЕКСНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ПЕРВИЧНОГО РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В ДООПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

Ключевые слова: *рак щитовидной железы, диагностика, ультразвуковое исследование.*

Проведено комплексное ультразвуковое исследование 259 пациентов с верифицированным диагнозом рака щитовидной железы. Изучены основные эхографические признаки морфологических форм рака. Выявлено, что комплексная ультразвуковая диагностика с использованием современных технологий увеличивает чувствительность эхографии в диагностике первичного рака щитовидной железы до 93,97%, специфичность – до 77,37%, диагностическую точность – до 92,25%.

L.A. TIMOFEEVA, T.N. ALESHINA, A.V. MAKSIMOVA

THE ROLE OF COMPLEX ULTRA-SOUND INVESTIGATION IN THE ESTIMATION OF THE INITIAL THYROID GLAND CANCER IN THE PREOPERATIONAL PERIOD

Key words: *thyroid gland cancer, diagnostics, ultrasound examination.*

The authors carry out the complex ultra-sound investigation of 259 patient with verified diagnosis of thyroid gland cancer. During the investigation the main echo-graphical signs of morphological forms of the cancer have been studied. It is revealed that complex ultrasound diagnosis with the use of modern technologies increases the sensitivity of echo-graphy in the diagnosis of the initial thyroid gland cancer up to 93,97%, specificity up to 77,37%, diagnostically precisions up to 92,25%.

Успехи в диагностике опухолей щитовидной железы в последние годы связаны с внедрением в клиническую практику новых диагностических аппаратов и методик, позволяющих не только устанавливать правильный диагноз, но и делать это быстро и комфортно для пациента. Ультразвуковая диагностика (эхография, УЗД) является ведущим методом визуализации щитовидной железы (ЩЖ), позволяющим на ранних стадиях выявлять непальпируемые очаги опухолевого роста от 0,2-0,3 см и более [4, 6, 11]. Их своевременная диагностика увеличивает вероятность обнаружения числа больных с раком ЩЖ на ранних стадиях заболевания [11].

Простой подсчет распространенности рака щитовидной железы среди узловых образований показывает, что менее чем один узел из 20 (5%) потенциально злокачествен [8, 15]. Папиллярный рак – самая частая злокачественная опухоль щитовидной железы, встречается в 78-85%, частота фолликулярного рака составляет 10-14% [14]. Медуллярный рак, по наблюдениям различных авторов, составляет 5-10% от всех злокачественных опухолей щитовидной железы, а высокоагрессивные формы (анапластический, плоскоклеточный) – 1-1,6% [2, 3].

Постоянное совершенствование ультразвуковой аппаратуры, внедрение в клиническую практику таких высокоинформативных методов исследования, как цветовое и энергетическое допплеровское картирование, спектральная допплерография, тканевая гармоника, адаптивный колорайзинг, импульсноволновая допплерометрия, трехмерная реконструкция изображения, расширили возможности визуализации узловых патологий щитовидной железы, позволив существенно улучшить ее дифференциальную диагностику [13, 16, 18].

Цель исследования – детальное изучение возможности комплексного ультразвукового исследования для уточнения дифференциально-диагностических признаков при злокачественных образованиях щитовидной железы на ранних стадиях заболевания, различных их морфологических форм и объективная оценка каждого показателя в отдельности и в целом.

Материалы и методы исследования. Проведено комплексное ультразвуковое исследование 259 пациентов с первичным раком щитовидной железы, диагноз у которых подтвержден гистологически (табл. 1).

Группу сравнения составили 260 пациентов с неизменной ЩЖ по данным клинического обследования и результатов ультразвукового исследования. Возраст больных колебался в пределах от 18 до 80 лет, женщины составили 139 (88%).

Таблица 1

Распределение обследованных больных по морфологическим формам рака щитовидной железы

Гистологический диагноз	Количество больных
Папиллярный рак	198
Фолликулярный рак	35
Медуллярный рак	22
Низкодифференцированный рак	4
Итого	259

Комплексная эхография проводилась на ультразвуковом сканере Aplio XG (Toshiba, Japan) линейным датчиком с частотой сканирования 7-14 МГц при использовании режимов серой шкалы, тканевой гармоники, адаптивного колорайзинга, цветового и энергетического допплеровского картирования (ЦДК и ЭДК), импульсноволновой допплерометрии, трехмерной реконструкции изображения, режима MicroPure.

При исследования ЩЖ в серошкальном режиме учитывались следующие параметры: расположение, объем щитовидной железы, ее контур, эхогенность, эхоструктура, а также локализация, размеры, форма, контур, эхогенность и эхоструктура патологического образования, наличие анэхогенного ободка (его толщина и равномерность) и плотных включений – кальцинатов.

В режиме цветового и энергетического допплеровского картирования определялась степень васкуляризации паренхимы ЩЖ (неизмененная или повышенная), а также типы сосудистого рисунка объемных образований. Для оценки ангиоархитектоники узловых образований использовалась классификация, предложенная М.М. Абдулхалимовой и соавт. (1999), которые выделяют 4 типа сосудистого рисунка объемных образований:

I тип – отсутствие или слабая выраженность цветовых сигналов в объемном образовании;

II тип – наличие цветовых сигналов по периферии образования (перинодулярно) в виде единичных пятен или сплошного кольца;

III тип – смешанный, сочетающий перинодулярные и интранодулярные (внутриузловые) цветовые сигналы;

IV тип – характеризующийся наличием только интранодулярных цветовых сигналов [1].

В режиме цветового допплеровского картирования измерялся максимальный диаметр как щитовидных артерий (верхних и нижних) в обеих долях, так и приносящих, периферических и интранодулярных составляющих сосудистой сети объемных образований.

При использовании импульсноволновой допплерометрии в щитовидных артериях и сосудистой сети объемных образований были оценены количественные (максимальная систолическая (Max), минимальная диастолическая (Min) и усредненная по времени максимальная систолическая скорость кровотока (TAMx)) и качественные (индекс резистентности по формуле RI = (Max – Min)/Max и пульсационный индекс по формуле PI = (Max – Min)/TAMx) параметры. При этом контрольный объем занимал не более 1/2 просвета сосуда.

Методики трехмерной визуализации при раке ЩЖ позволяли детальнее оценивать нечеткость, бугристость контуров, определять наличие кальцинатов, многоузловатость, более четко характеризовать обрыв капсулы и выход процесса за контуры железы, плотность распределения сосудов в структуре образований, хаотичность их хода, патологическую трансформацию сосудистого рисунка.

Для диагностики микрокальцинатов в щитовидной железе использовалась новая методика визуализации Aplio XG – технология MicroPure, основанная на получении данных высокочастотным 4D линейным датчиком и обработке полученной информации с помощью новой технологии – Computerized Aided Diagnosis (CAD). Известно, что свечение на синем фоне на 10% лучше воспринимается глазом, чем на сером. Именно потому при исследовании в данном режиме микрокальцинаты отображены ярко светящимися объектами или фокусами на синем фоне, что позволяет достичь исключительной точности и чувствительности.

Статистическая обработка результатов проведена на компьютере в системе электронных таблиц «Excel» фирмы «Microsoft» по прикладным программам с использованием параметрических и непараметрических методов статистического анализа и *t*-критерия Фишера–Стьюдента для определения достоверности различий в соответствии с требованиями CONSORT (CONSORT GROUP, 1996). Используя принцип решающей матрицы, оценивали показатели диагностических тестов (истинно отрицательные результаты, истинно положительные результаты, ложноотрицательные результаты, ложноположительные результаты) и информативность данных признаков (чувствительность, специфичность, точность, прогностическая ценность положительного результата, прогностическая ценность отрицательного результата).

Результаты исследования и их обсуждение. По данным комплексной ультразвуковой визуализации проведен сравнительный анализ основных эхографических признаков морфологических форм рака ЩЖ. Высокодифференцированные формы РЩЖ встречаются в большинстве случаев. Папиллярный рак отмечен в 76,5% случаев, фолликулярный – в 14,0%, медуллярный – в 8,0%, а недифференцированный – в 1,5%, что соответствует данным большинства отечественных и зарубежных ученых [9, 11-15].

Результаты комплексного ультразвукового исследования у больных с первичным раком щитовидной железы показали, что наиболее характерными ультразвуковыми признаками очаговых изменений в щитовидной железе, указывающими на возможность их злокачественного характера, в режиме серой шкалы с использованием тканевой гармоники и режима MicroPure являлись: солитарность образования (42,9%); неправильная форма (73,5%), неровность границы (77,6%), нечеткие контуры (72,4%), гипоэхогенность узла (81,5%), неоднородность структуры (86,7%), наличие гиперэхогенных включений (31,2%) (чаще микрокальцинаты до 2 мм, без акустической тени), отсутствие ободка Хало (70%), увеличение шейных лимфоузлов (32%) (рис. 1).

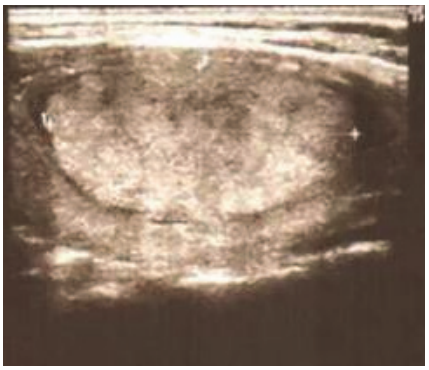


Рис. 1. Рак щитовидной железы
режим серой шкалы

Ретроспективная сравнительная оценка эхографических признаков основных морфологических форм рака ЩЖ представлена в табл. 2.

Комплекс допплеровских методик позволил оценить наличие кровотока и его распределение в ткани узла. В режимах ЦДК и ЭДК, трехмерной реконструкции сосудов для рака щитовидной железы характерны гиперваскулярность очаговых изменений (89,7%), интранодулярный или смешанный тип кровотока (47,7%), насыщенность, дезорганизованность, хаотичность, асимметричность

сосудистого рисунка в узле (87,7%), неравномерное распределение сосудов в структуре узла (85,9%), патологическая трансформация сосудов (88,7%), визуализируются они в виде слепо заканчивающихся сосудистых структур разного калибра (рис. 2).

Таблица 2

Эхографические признаки морфологических форм рака ЩЖ

Признак		Рак ЩЖ							
		папиллярный		фолликулярный		медуллярный		низкодифференцированный	
		n = 198	%	*n* = 35	%	*n* = 22	%	*n* = 4	%
Форма	правильная	49	5	10	26	7	30	1	25
	неправильная	149	75	25	74	15	70	3	75
Границы	ровные	40	20	9	25	5	20	1	25
	неровные	158	80	26	75	17	80	3	75
Контуры	четкие	49	25	13	35	6	25	1	25
	нечеткие	149	75	22	65	16	75	3	75
Эхогенность	гипоэхогенная	168	85	28	80	19	86	3	75
	изоэхогенная	10	5	3	8	1	5	-	-
	гиперэхогенная	20	10	4	12	2	9	1	25
Эхоструктура	однородная	24	12	6	16	6	25	-	-
	неоднородная	174	88	29	84	16	75	4	100
Микрокальцинаты	нет	129	65	32	90	16	70	2	50
	есть	69	35	3	10	6	30	2	50
Наличие ободка Halo	есть	59	30	13	35	7	30	1	25
	нет	139	70	22	65	15	70	3	75
Увеличение лимфоузлов	есть	109	55	12	23	6	25	1	25
	нет	89	45	23	68	16	75	3	75

По мере увеличения количества этих признаков, возрастает вероятность наличия злокачественной опухоли щитовидной железы.

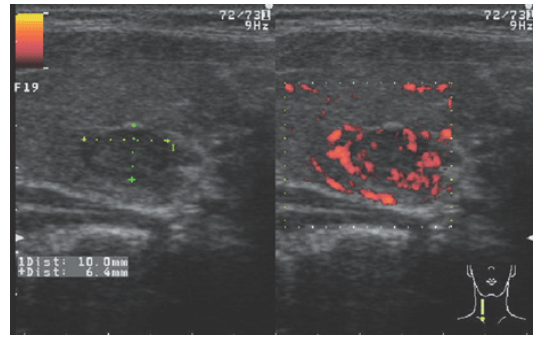


Рис. 2. Рак щитовидной железы: деформация контура щитовидной железы (режим энергетического допплера)

При изучении основных морфологических форм РЩЖ было выявлено, что ультразвуковыми признаками папиллярного рака ЩЖ (*n* = 198) являлись: неправильная форма, неровные границы, нечеткие контуры, пониженная эхогенность, неоднородность эхоструктуры образования, отсутствие анэхогенного ободка, увеличение лимфоузлов. При ЦДК и ЭДК отмечались гиперваскулярность узла, асимметричность, хаотичность, дезорганизованность сосудистого рисунка в его структуре, патологическая трансформация сосудов, преобладали III и IV типы сосудистого рисунка (рис. 3).

Фолликулярный рак ЩЖ (*n* = 35) характеризовался неправильной формой, неровными границами, нечеткими контурами, гипоэхогенностью. Чаще, чем при остальных формах, характеризовался гиперэхогенными и средней эхогенности узлами, структура которых также была чаще неоднородной и наличием ободка-hallo, реже встречались кальцинаты. При ЦДК и ЭДК также отмечались гиперваскулярность узла, дезорганизованность сосудистого ри-

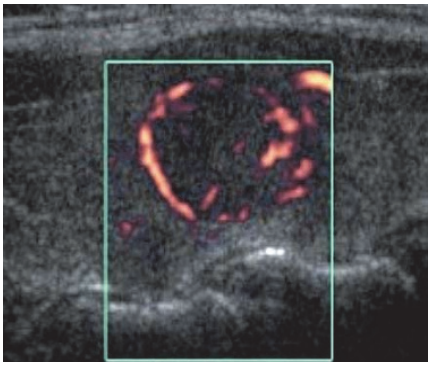


Рис 3. Рак щитовидной железы. 3-й тип васкуляризации узловых образований щитовидной железы. Режим энергетического допплера

сунка, но чаще встречались аваскулярность и гиповаскулярность узлов, преобладал III тип сосудистого рисунка.

Медуллярный рак ЩЖ (n = 22) определялся как образование с правильной формой, неровными границами, нечеткими контурами, пониженной эхогенности, с отсутствием анэхогенного ободка. Чаще по сравнению с другими формами эхоструктура узлов была однородной. В 94% случаев – гиперваскулярность узла, сосудистый рисунок III и IV типов по 45,5%.

Недифференцированный рак ЩЖ (n = 4) характеризовался гипоэхогенностью узлов, нечеткими контурами, неровными границами, неоднородностью эхоструктуры, наличием микрокальцинатов. В 100% случаев узлы были гиперваскулярны, сосудистый рисунок был по 50% III и IV типов, не встречались I и II типы.

Выводы. Режим серой шкалы являлся основной методикой визуализации узловых злокачественных образований ЩЖ. Использование тканевой гармоники и режима MicroPure позволило в 30,0% случаев улучшить визуализацию узла, более точно оценить размеры образований, наличие и локализацию кальцинатов и состояние окружающей ткани железы, что позволяет успешно применять эти методы в клинике.

Использование режима ЦДК дало возможность оценить направление кровотока в сосудах и степень васкуляризации опухоли. Однако зависимость получения качественного изображения сосуда от скорости и направления движения форменных элементов крови, а также от угла между ультразвуковым лучом и продольной осью сосуда ограничивает диагностическую ценность методики. В целях устранения недостатков ЦДК используют энергетическое допплеровское картирование (ЭДК), что позволяет получать «уголнезависимые» изображения мелких сосудов. Многие исследователи отмечают, что трехмерная реконструкция сосудов позволяет более точно, по сравнению с ЦДК и ЭДК, определять количество, калибр, направление визуализируемых сосудов в узлах щитовидной железы [5, 9, 10, 12, 17, 19].

Таким образом, диагностические возможности УЗИ значительно повышаются при применении комплекса новейших технологий и методик, включая допплеровские исследования, и режимов трехмерной реконструкции изображения, увеличивая чувствительность эхографии в диагностике первичного рака щитовидной железы до 93,97%, специфичность – до 77,37%, диагностическую точность – до 92,25%.

Литература

1. *Абдулхалимова М.М., Митьков В.В., Бондаренко В.О.* Использование ЦДК в комплексной ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы // Ультразвуковая диагностика. 1999. № 1. С. 74-78.

2. *Валдина Е.А.* Узловой зоб и рак щитовидной железы // Вестник хирургии. 1997. Т. 156, № 2. С. 23-25.

3. *Ванушко В.З., Кузнецов Н.С., Гарбузов П.И., Фадеев В.В.* Рак щитовидной железы // Проблемы эндокринологии. 2005. Т. 51, № 4. С. 43-53.

4. *Заболотская Н.В.* Ультразвуковое исследование щитовидной железы // Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / под ред. В.В. Митькова, М.В. Медведева. М.: Видар, 1996. Т. 2. С. 371-393.

5. *Зубарев В.А., Башилов В.Л., Насникова И.Ю., Маркова Н.В.* Значение ультразвуковой диагностики с трехмерной реконструкцией сосудов в диагностике узловых образований щитовидной железы // Медицинская визуализация. 2000. № 3. С. 57-62.

6. *Калинин А.П., Филоненко А.А., Митьков В.В.* Значение эхографии в диагностике заболеваний щитовидной и околощитовидных желез // Медицинская радиология. 1990. № 4. С. 56-60.

7. *Маркова Н.В., Зубарев А.В., Башилов В.П., Гаранин С.В.* Ультразвуковые методики исследования объемных образований щитовидной железы // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2001. № 1. С. 67-70.

8. *Пачес А.И., Пропп Р.М.* Рак щитовидной железы. 2-е изд. М.: Медицина, 1995.

9. *Сенча А.Н.* Ультразвуковая визуализация злокачественных опухолей щитовидной железы // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2008. № 2. С. 20-29.

10. *Трофимова Е.Ю.* Значение ультразвукового исследования при опухолях щитовидной железы // Медицинские последствия аварии на ЧАЭС: материал науч.-практ. симпозиума. Минск: ИздАТ, 1995. С. 31-34.

11. Ультразвуковая диагностика заболеваний щитовидной железы / *А.Ф. Цыб, В.С. Паршин, Г.В. Нейстайко и др.* М.: Медицина, 1997. С. 329.

12. *Филатов А.А., Ветшев П.С., Ахмедова Ф.Б.* Лучевая диагностика узловых поражений щитовидной железы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2002. Т. 47, № 6. С.63-68.

13. *Харченко В.П., Котляров П.М., Зубарев А.Р.* Диагностика рака щитовидной железы по данным ультразвукового исследования. М.: ОАО Можайский полигр. комб., 2002.

14. A national cancer data base report on 53,856 cases of thyroid carcinoma treated in the U.S., 1985-1995 / *S.A. Hundahl, I.D. Fleming, A.M. Fremgen et al.* // Cancer. 2004. Vol. 83, № 12. P. 2638-2648.

15. Cancer risk in patients with cold thyroid nodules: relevance of iodine intake, sex, age, and multinodularity / *A. Belfiore, G.L. La Rosa, G.A. La Porta et al.* // Am. J. Med. 1992. Vol. 93. P. 359-362.

16. *Messina G., Viceconti N., Trinti B.* Echography and color Doppler in the diagnosis of thyroid carcinoma // Ann. Ital. Med. Int. 1996. Vol. 11, № 4. P. 263-267.

17. Role of conventional ultrasonography and color flow doppler sonography in predicting malignancy in «cold» thyroid nodules / *T. Rago, P. Vitti, L. Chiovato et al.* // Eur. J. Endocrinol. 1998. Vol. 138, № 1. P. 41-46.

18. *Rout P., Shariff S.* Diagnostic value of qualitative and quantitative variables in thyroid lesions // Cytopathology. 1999. Vol. 10, № 3. P. 171-179.

19. *Urso M., Angelilis L.* Vasculauisation of singl thyroid nodules as an indicator malignant neoplasm: a stady using echo-color Doppler // Алл. Ital. Med. Int. 1996. Vol. 11, № 3. P. 175-179.

ТИМОФЕЕВА ЛЮБОВЬ АНАТОЛИЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (adabai@mail.ru).

TIMOFEEVA LYUBOV ANATOLIEVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Internal Medicine Propedeutics Chair with a course of radiation diagnostics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

АЛЕШИНА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА – клинический ординатор кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (brunetka08-87@mail.ru).

ALESHINA TATYIANA NIKOLAEVNA – clinik ordinator of Internal Medicine Propedeutics Chair with a course of radiation diagnostics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

МАКСИМОВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА – клинический ординатор кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (bu-nastena@mail.ru).

MAKSIMOVA ANASTASIA VLADIMIROVNA – clinik ordinator of Internal Medicine Propedeutics Chair with a course of radiation diagnostics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.341–006–073.7
ББК Р415.12–436.1

Л.А. ТИМОФЕЕВА, А.В. МАКСИМОВА, Т.Н. АЛЕШИНА

РАННЯЯ ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА НЕПАЛЬПИРУЕМЫХ УЗЛОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Ключевые слова: *узловые образования щитовидной железы, ультразвуковая диагностика, тонкоигольная аспирационная биопсия, радионуклидная сцинтиграфия.*

Представлены результаты применения методов лучевой визуализации пациентов с узловыми образованиями щитовидной железы. Производился сравнительный анализ данных ультразвукового исследования, двухиндикаторной сцинтиграфии и тонкоигольной аспирационной пункционной биопсии. Установлено, что тонкоигольная аспирационная пункционная биопсия под контролем ультразвукового исследования является одним из самых достоверных методов в ранней диагностике узлов щитовидной железы.

L.A. TIMOFEEVA, A.V. MAKSIMOVA, T.N. ALESHINA

EARLY THE COMPLEX RADIOLOGICAL DIAGNOSTIC NODULAR ABNORMALITIES OF THE THYROID GLAND

Key words: *thyroid gland, complex ultrasound examination, two-indicator scintigraphy and fine-needle aspiration puncture biopsy.*

The authors presents the results of the complex radiological examination of patients with nodular abnormalities of the thyroid gland. The comparative analysis of the data of ultrasound examination, two-indicator scintigraphy and fine-needle aspiration puncture biopsy was performed. It was established that fine-needle aspiration puncture biopsy by ultrasonic control is one of the most reliable preoperative method in early diagnostic nodular abnormalities of the thyroid gland.

Чаще всего больные с узловым зобом и опухолями щитовидной железы не предъявляют никаких жалоб или предъявляют те, что носят неспецифический характер [2, 11]. Такая ситуация обусловлена тем, что узловые образования щитовидной железы – это прежде всего непальпируемые узлы (до 1,0 см в диаметре) [1, 8]. При осмотре шеи и пальпации щитовидной железы такие патологические изменения не обнаруживаются. Данные узлы, как правило, являются случайной находкой при ультразвуковом исследовании. Опасность поздней диагностики непальпируемого узла заключается в том, что щитовидная железа является органом, в котором часто обнаруживается бессимптомная злокачественная опухоль – карцинома небольших размеров. В настоящее время имеется много сообщений, в которых описывается скрытая карцинома щитовидной железы, обнаруженная при патологоанатомическом исследовании [4]. Частота подобных находок, по данным разных авторов, колеблется от 7,2 до 38,6 %. Поэтому проблема ранней лучевой диагностики и своевременного адекватного лечения патологических узловых образований щитовидной железы, которые на сегодняшний день встречаются у 4-10% населения, до сих пор остаётся актуальной [3, 12].

Целью исследования являлась сравнительная оценка диагностической эффективности методов тонкоигольной аспирационной биопсии под ультразвуковым контролем, двухиндикаторной сцинтиграфии и комплексного ультразвукового исследования в ранней лучевой диагностике непальпируемых узлов щитовидной железы.

Материалы и методы исследования. Проанализированы данные 1023 пациентов, обследованных и прооперированных в хирургическом отделении БУ РОД по поводу узловых образований щитовидной железы в период с 2007 по 2012 г.

Количество пациентов, у которых, по данным ультразвукового исследования, наибольший опухолевый узел был размерам менее 1,0 см в диаметре, составило 826. Эта группа пациентов и положена в основу исследования. Возраст пациентов варьировал от 27 до 78 лет, из них 695 женщин (84% всех обследованных) и 131 мужчина (16 % всех обследованных).

Всем 826 пациентам были проведены комплексное ультразвуковое сканирование, тонкоигольная аспирационная биопсия под контролем УЗИ и 56 больным – радионуклидная сцинтиграфия

Комплексное ультразвуковое сканирование щитовидной железы проводилось на УЗИ-сканере Aplio XG (Toshiba, Japan) (в режиме серой шкалы, цветового и энергетического допплеровского картирования). Радиоизотопное исследование щитовидной железы проводилось в 2 этапа с использованием ^{99m}Tc-пертехнетат и технетрила (^{99m}Tc-МИБИ). Сцинтиграфия щитовидной железы проводилась на гамма-камере МВ-9200 Венгерской фирмы «Гамма» с коллиматором низких энергий (ниже 300 кэВ) и набором импульсов до 500 000 [5, 7]. В обоих случаях исследование проводилось в положении больного лежа на спине в режиме планарной сцинтиграфии. Оценка сцинтиграфической картины накопления радиофармпрепарата в исследуемых зонах проводилась визуально и количественно.

Аспирационная пункционная биопсия под контролем УЗИ проводилась по стандартной методике в различные сроки после обнаружения микроузла в щитовидной железе [9].

Результаты исследования и их обсуждение. В ранней лучевой диагностике больных с непальпируемыми объемными образованиями щитовидной железы наибольшее применение получила комплексная ультрасонография. Ультразвуковая диагностика позволяет выявить узловую патологию щитовидной железы, оценить распространенность процесса и судить о злокачественности узла. Кроме того, метод является объективным, неинвазивным, доступным, не требует специальной подготовки больного и может быть многократно повторен. С помощью УЗИ можно выявить узловые образования в щитовидной железе 0,2 см и более [6]. В то же время верифицировать диагноз, в большинстве случаев, при помощи аспирационной пункционной биопсии под контролем УЗИ удаётся при размерах опухоли от 0,7 см в диаметре.

Применение радионуклидной сцинтиграфии ограничено в распознавании и ранней диагностике узловых образований ЩЖ. Существенным недостатком этого метода является невозможность распознавания на радиоизотопных сцинтиграммах локальных изменений ЩЖ небольшого размера. Доказано, что лишь очаговые уплотнения диаметром 20-30 мм получают отчетливое изображение при радионуклидном сканировании ЩЖ. Кроме того, с помощью этого метода невозможно произвести отличительное разграничение кист от «солидных узлов». На радионуклидных сцинтиграммах полости содержащие жидкость, визуализируются как «холодные» очаги, не накапливающие ^{99m}Tc-пертехнетат. В отличие от радионуклидной сцинтиграфии с помощью ультрасонографии легко дифференцируются «солидные» узлы (аденомы, коллоидные узлы, лимфоидные инфильтраты у больных тиреоидитом Хашимото, раковая ткань) и содержащие жидкость объемные образования – кисты. Однако специфичность этого метода, т.е. способность к отличительному разграничению злокачественных опухолей ЩЖ от аденом, кист, коллоидных узлов и лимфоидных инфильтратов, недостаточна. Ни один из сонографических признаков не может служить абсолютно надежным критерием для отличительного разграничения злокачественных опухолей от доброкачественных объемных образований ЩЖ небольшого размера.

В определении или исключении признаков злокачественности ультрасонографически обнаруженного непальпируемого объемного образования ведущую роль играет тонкоигольная пункционная аспирационная биопсия, выполняемая под ультразвуковым контролем [10]. Выполнение этой абсолютно безопасной процедуры позволяет получить материал для цитологического исследования, на основании анализа которого получают дифференциально-диагностические признаки для отграничения злокачественных опухолей ЩЖ от

объемных образований другого типа. Выполнение УЗ-ТПАБ позволяет верифицировать диагноз на ранних стадиях рака щитовидной железы, когда опухоль еще не пальпируется [13]. Не следует забывать и о том, что УЗ-ТПАБ применяют также и для выяснения природы уплотнений щитовидной железы, определяемых с помощью пальпации.

Выводы. 1. Все непальпируемые опухоли были обнаружены случайно при ультрасонографии.

2. В определении или исключении признаков злокачественности или доброкачественности ультрасонографически обнаруженного непальпируемого объемного образования ведущую роль играет тонкоигольная пункционная аспирационная биопсия, выполняемая под ультразвуковым контролем. Выполнение УЗ-ТПАБ позволяет верифицировать диагноз на ранних стадиях рака щитовидной железы, когда опухоль еще не пальпируется.

3. Применение радионуклидной сцинтиграфии ограничено в распознавании и ранней диагностике непальпируемых узловых образований ЩЖ. Только узлы диаметром 20-30 мм получают отчетливое изображение при радионуклидном сканировании ЩЖ.

4. В отличие от радиоизотопного сканирования ультразвуковое исследование характеризуется достаточно высокой чувствительностью в распознавании объемных образований ЩЖ небольшого размера.

5. Более точная характеристика непальпируемых, но сонографически выявляемых локальных изменений эхоструктуры щитовидной железы возможна только при комплексном применении наиболее оптимальных в каждом конкретном случае методов лучевой диагностики.

Литература

1. *Богин Ю.Н., Маневич Н.А., Шапиро Н.А.* Комплексная диагностика узловых форм заболеваний щитовидной железы // Клиническая медицина. 1990. № 5. С. 70.

2. *Воронецкий И.Б., Курцева Л.Г.* Ранняя диагностика непальпируемых узлов щитовидной железы // Медицинская радиология. 1992. № 8. С. 3.

3. *Габуния Р.И., Ткачева Г.А.* Радиоиммунологический анализ в онкологии. М.: Медицина, 1984. С. 93.

4. *Лушников Е.Ф., Втюрин Б.М., Цыб А.Ф.* Микрокарцинома щитовидной железы. М.: Медицина, 2003. 243 с.

5. *Паршин В.С., Терентьев Р.О., Цыб А.Ф.* Роль эхографии в диагностике малого рака щитовидной железы (Т1) на дооперационном этапе // Российский онкологический журнал. 1998. № 4. С. 35-38.

6. *Пачес А.И., Пропп Р.М.* Рак щитовидной железы. М.: Центр внедрения достижений науки и техники, 1995. 370 с.

7. *Припачкина А.П.* Возможности ультразвукового метода исследования в диагностике опухолей щитовидной железы: автореф. … канд. мед. наук. М., 1997. 26 с.

8. *Румянцев П.О., Ильин А.А., Румянцева У.В., Саенко В.А.* Рак щитовидной железы. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2009. 448 с.

9. *Серов А.С., Попова Н.А., Жогова Л.Н.* Значение тонкоигольной аспирационной пункционной биопсии под контролем УЗИ в диагностике очаговых образований щитовидной железы // Материалы XXI межрегиональной науч.-практ. конф. Липецк, 2008. С. 158-160.

10. *Трофимова Е.Ю., Трофимова Е.Ю.* Диагностическая пункция под контролем ультразвукового исследования // Визуализация в клинике. 1998. № 13. С. 46-49.

11. Ультразвуковая томография в диагностике заболеваний щитовидной железы // *С.А. Бальтер, А.И. Пачес, Б.М. Анохин и др.* // Вопросы онкологии. 1989. Т. 35, № 8. С. 920.

12. *Belfiore A., La Rosa G.L.* Fine-needle aspiration biopsy of the thyroid // Endocrinol. Metab. Clin. North Am. 2001. Vol. 30(2). P. 361-400.

13. *Jonas J., Blaich S., Nagel A., Bahr R.* Hemithyroidectomy on principle in cases of unclear fine needle biopsy and frozen section findings // Zentralbl. Chir. 2001. № 12. P. 964-968.

ТИМОФЕЕВА ЛЮБОВЬ АНАТОЛИЕВНА. См. с. 545.

МАКСИМОВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА. См. с. 545.

АЛЕШИНА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА. См. с. 545.

УДК 616.441-008.64; 616.441-008.61; 616-008.9
ББК 54.15

Н.В. ТУКТАНОВ

ЭФФЕКТЫ ИНФУЗИОННОЙ ОЗОНОТЕРАПИИ У ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ ФУНКЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Ключевые слова: *перекисное окисление липидов, щитовидная железа, гипотиреоз, гипертиреоз, хемилюминесценция, озонотерапия.*

Изучены активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной защиты, а также влияние на них инфузионной озонотерапии у 23 больных гипотиреозом, 43 больных тиреотоксикозом. Контролем служила группа из 29 здоровых лиц. Наряду с содержанием тиреоидных гормонов учитывали максимальную интенсивность хемилюминесценции (I_{max}), показатель светосуммы (S), их отношение (I_{max}/S), содержание триеновых и диеновых конъюгатов, малонового диальдегида, активность супероксиддисмутазы Выявлены повышенная активность ПОЛ при гипотиреозе и тиреотоксикозе, снижение активности супероксиддисмутазы при тиреотокси-козе. Инфузионная озонотерапия способствует улучшению результатов терапии тиреотоксикоза без существенного влияния на активность ПОЛ, активации перекисного окисления липидов у больных гипотиреозом.

N.V. TUKTANOV

EFFECTS OF INFUSION OF OZONE THERAPY IN PATIENTS WITH THYROID DYSFUNCTION

Key words: *lipid peroxidation, the thyroid gland, hypothyroidism, hyperthyroidism, chemiluminescence, ozone therapy.*

Studied the activity of lipid peroxidation (LPO) and antioxidant protection, and the impact on them of infusion of ozone therapy in 23 patients with hypothyroidism, 43 patients with thyrotoxicosis. Served as a control group of 29 healthy individuals. Along with the content of thyroid hormones into account the maximum intensity of chemiluminescence (I_{max}), indicator light sum (S), their ratio (I_{max}/S), the content of triene and diene conjugates, malondialdehyde, activity superoksiddisumatazy revealed increased activity of lipid peroxidation in hypothyroidism and hyperthyroidism, a decrease in superoxide dismutase activity in thyrotoxicosis. Infusion ozone therapy helps to improve the results of treatment of hyperthyroidism without significant effect on the activity of lipid peroxidation, is able to activate lipid peroxidation in patients with hypothyroidism.

Озонотерапия (ОТ) – активно развивающееся направление клинической медицины. Она относится к группе методов окислительной терапии, в которую входят гипербарическая оксигенация, ультрафиолетовое облучение крови, низкоинтенсивное лазерное излучение, фотодинамическая терапия. Биологическая активность озона – результат динамического равновесия, которое поддерживается прооксидантными свойствами озона и его производных, с одной стороны, и компонентами антиоксидантной защиты (АОЗ) – с другой [11].

Низкие концентрации озона не проявляют токсического действия, так как свободные радикалы нейтрализуются антиоксидантной системой защиты организма. При внутривенном введении озонированного физиологического раствора проявляются системные эффекты вследствие появления в крови индуцируемых озоном низких концентраций активных форм кислорода: регуляция вазодилатации и вазоконстрикции, активация энергетического обмена, модуляция окислительно-восстановительного гомеостаза, иммуномодуляция. Разнообразие системных эффектов ОТ позволяет с успехом применять этот метод в гнойной хирургии, кардиологии, акушерстве и гинекологии, онкологии, пульмонологии, гастроэнтерологии, неврологии [11].

Активация основного процесса свободнорадикального окисления и его ключевого звена – перекисного окисления липидов (ПОЛ) – является признаком многих заболеваний [5]. Изменения активность ПОЛ наблюдаются и при нарушении функции ЩЖ. При гипотиреозе наблюдаются высокие цифры МДА [4], ДК [8].

Чем сильнее выражено отклонение от нормы уровней тиреоидных гормонов, тем значительнее возрастает интенсивность ПОЛ [9]. При гипотиреозе выявлено и снижение активности системы антиоксидантной защиты – АОЗ [12], в частности активности каталазы и пероксидазы [4], глютатионпероксидазы [13], СОД [4]. Наряду с этим есть данные о повышении содержания растворимых антиоксидантов при гипотиреозе по данным биохемилюминесценции [7].

Есть сведения об усилении процессов ПОЛ и снижении антиоксидантной активности (АОА) при тиреотоксикозе [15]. У больных диффузно-токсическим зобом отмечено значительное повышение уровня малонового диальдегида (МДА) [1]. Есть свидетельства об угнетении АОА при тиреотоксикозе, причем одновременно может выявляться дефицит в нескольких звеньях АОЗ: снижение активности СОД, каталазы, глютатиона [14].

Применение ОТ за счет разнообразных метаболических эффектов может быть полезно и у пациентов с нарушенной функцией ЩЖ. Однако исходные нарушения в системе АОЗ–ПОЛ у этих пациентов требуют обязательного лабораторного контроля за ПОЛ как показателей активности заболевания, а также для исключения побочных действий ОТ.

Есть отдельные работы о применении данного метода у пациентов с патологией ЩЖ. ОТ у больных с тиреотоксикозом способствует более быстрой нормализации уровней тиреоидных гормонов и сопровождается снижением содержания МДА [1, 2] и восстановлением антиоксидантного статуса крови (повышение активности каталазы) [2]. У больных с гипотиреозом и ожирением ОТ способствует снижению активности ПОЛ и росту содержания в крови тиреоидных гормонов [10].

Таким образом, данные литературы свидетельствуют об увеличении содержания продуктов ПОЛ и снижении АОЗ при нарушении функции ЩЖ. Эффекты озонотерапии при лечении патологии ЩЖ изучались в единичных работах.

Цель работы – изучить состояние перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты у больных с гипо- и гипертиреозом и оценить влияние на них инфузионной озонотерапии.

Материалы и методы исследования. Обследовано 23 больных с гипотиреозом и 43 с тиреотоксикозом, проходивших лечение в эндокринологическом отделении Республиканской клинической больницы Минздрава Чувашии. Группу контроля составили 29 лиц случайной выборки популяции.

Проводилось исследование состояния перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы сыворотки крови (АОС). Для предварительной оценки интенсивности свободнорадикального окисления использовался метод индуцированной хемилюминесценции (ХЛ) сыворотки крови [6]. В качестве активаторов использовали 0,05 М раствор сульфата железа и 2%-ный раствор перекиси водорода. Измерение интенсивности свечения осуществляли в течение 30 с на приборе биохемилюминометре БХЛ-06 (Россия, Нижний Новгород). Брались следующие показатели: 1) I_{max} (mV) – максимальная интенсивность свечения, которая отражает потенциальную способность биологического объекта к ПОЛ; значение этой величины зависит от концентрации общих липидов (ОЛ) в плазме крови, поэтому дополнительно вычисляется отношение I_{max}/ОЛ; 2) S – светосумма (за 30 с) – отражает содержание радикалов, соответствующих обрыву цепи свободнорадикального окисления, обратно пропорциональна активности антиоксидантной системы, для определения антиоксидантной активности вычисляется отношение S/ОЛ; 3) отношение I_{max}/S, характеризующее общую антиоксидантную активность плазмы крови; 4) $\mathrm{tg}\alpha$ – показатель, характеризующий

скорость спада процессов свободнорадикального окисления в плазме и коррелирует с индексом I_{max}/S.

Измеряли уровни первичных (диеновых конъюгатов – ДК и триеновых конъюгатов – ТК) и вторичных продуктов ПОЛ (малонового диальдегида – МДА). Измерение оптической плотности МДА, ДК, ТК проводили на спектрофотометре СФ-46 фирмы «ЛОМО» (Ленинград, СССР). Содержание ДК определяли в метанол-гексановой липидной фракции (5:1) при длине волны поглощения 233 нм, ТК – в той же фракции при длине волны 275 нм, МДА – при длине волны 532 нм. Активность СОД в мембране эритроцитов определяли по методике M. Nishicimi et al. (1972). Для определения активности СОД использовали диагностические наборы фирмы «RANDOX». Экстракцию липидов из сыворотки крови проводили по методике J. Folch (1957). Полученные результаты представляли в единицах оптической плотности (единицах экстинции – е.э.) на 1 мг общих липидов (ОЛ).

Изучали содержание тиреотропного гормона (ТТГ), общего и свободного трийодтиронина (T_3, $свT_3$), общего и свободного тироксина (T_4, $свT_4$), антител к тиреоглобулину (АТ к ТГ). Уровни гормонов определяли на аппарате «Мультискан» при помощи иммуноферментных наборов, произведенных фирмой «Хема-Медика» (Россия) и фирмой Labodia S.A. (Швейцария).

Основными показаниями к назначению озонотерапии служили низкая эффективность комплексного консервативного лечения, обусловленная резистентностью к терапии, непереносимостью медикаментозных средств вследствие сенсибилизации к лекарственным препаратам, наличие сопутствующих заболеваний.

Озонированный изотонический раствор хлорида натрия в объеме 200-400 мл с концентрацией озона 1-2 мкг/л вливали внутривенно капельно, ежедневно; курс озонотерапии составлял 3-5 сеансов. Осложнений в процессе озонотерапии и после нее не было.

Статистический анализ проводили в программе Statistica 6.0 в среде Windows. Вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку ($M \pm m$), коэффициент линейной корреляции (r). О различиях между несвязанными выборками судили по U-критерию Манна–Уитни ($p_{m\text{-}u}$), между связанными выборками – по критерию Вилкоксона. О силе связи между данными судили по коэффициенту корреляции Спирмана (r) Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки (p) менее 0,05.

Для более адекватного суждения о степени изменения изучаемых показателей в процессе физической нагрузки использовали интегральный показатель их динамики (ИПД), который определялся по формуле:

$$\text{ИПД} = \ln (N / M) (N + M),$$

где M и N – значения исходного и конечного результатов, соответственно [3].

Результаты исследования и их обсуждение. У больных с гипотиреозом и тиреотоксикозом регистрировалась более высокая активность свободнорадикального окисления по сравнению с таковой в контрольной группе, регистрируемая по интегральной оценке – результатам ХЛ, а также по высокому содержанию продуктов ПОЛ (табл. 1). У больных тиреотоксикозом оказалась значительно снижена и активность СОД.

Соответственно, у больных с гипотиреозом наблюдалась и высокая частота сверхнормативных значений ПОЛ: S – в 52,2% случаев, I_{max} – в 43,5%, I_{max}/ОЛ – в 37,5%, МДА – в 28%, ДК – в 60%, ТК – в 66,7% случаев. У больных с тиреотоксикозом частота сверхнормативных значений ПОЛ регистрировалась: для S – в 74,4%, I_{max} – в 69,8%, I_{max}/ОЛ – в 80%, МДА – в 45%, ДК – в 65%, ТК – в 81% случаев.

Таблица 1

Состояние ПОЛ и АОС в норме и при гипотиреозе

Показатель	Группа сравнения (*n* = 29)	Гипотиреоз (*n* = 23)	Тиреотоксикоз (*n* = 43)
S, mV×c	24,62±1	31,6±1,6***	37,08±1,59***
I_{max}, mV	2,47±0,17	3,88±0,29***	4,40±0,21***
I_{max}/S, c^{-1}	0,098±0,004	0,122±0,004***	0,120±0,003***
tg α, mV/c	0,66±0,06	1,09±0,11*	1,17±0,08*
МДА, е.э.	1,05±0,29	2,19±0,45*	1,47±0,24*
ДК, е.э.	0,17±0,02	0,39±0,06**	0,35±0,04**
ТК, е.э.	0,037±0,001	0,061±0,007**	0,106±0,031*
ОЛ, г/л	4,73±0,3	5,27±0,45	4,35±0,36
I_{max}/ОЛ, отн. ед.	0,49±0,06	0,89±0,14*	1,40±0,14***
СОД, ед./г Hb	1454±75	1648±68	1089±336
S/ОЛ, отн. ед.	10,41±0,47	7,00±0,93	11,9±1,35

Примечание. Различия с группой сравнения: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Нормализация содержания тиреоидных гормонов в ходе стационарного лечения сопровождается улучшением показателей свободнорадикального окисления, хотя последнее в большинстве случаев не имело статистической значимости. У больных гипотиреозом при сопоставимой динамике роста тиреоидных гормонов ОТ способствует активации процессов ПОЛ (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что происходит достоверный рост ДК, МДА, I_{max} у пациентов с гипотиреозом, получающих озонотерапию. В группе стандартной терапии, напротив, отмечено статистически значимое снижение первичных продуктов ПОЛ: ДК и ТК.

В отличие от больных гипотиреозом у больных с тиреотоксикозом практически не происходит активации ПОЛ под действием озонотерапии (табл. 3).

В группе больных тиреотоксикозом при ОТ отмечен рост МДА, но есть достоверное снижение ТК. Результаты по уровням тиреоидных гормонов и продуктам ПОЛ сопоставимы в группах с ОТ и без нее, однако изначально группа пациентов, получавших ОТ, была более тяжелой, были значительно повышены уровни общих T_3 и T_4. Обращает на себя внимание, что при использовании ОТ у больных тиреотоксикозом удалось снизить концентрацию свободной фракции T_4 – основного гормона ЩЖ, что говорит об ускорении компенсации тиреотоксикоза при использовании данного вида лечения.

Есть основания считать, что динамика продуктов ПОЛ тесно связана с динамикой свободных фракций тиреоидных гормонов. При оценке корреляций между ИПД этих показателей при гипотиреозе выявлены корреляции между $_{ИПД}I_{max}/S$ и $_{ИПД}$свТ$_4$ ($r = +0,94$, $p < 0,01$), при тиреотоксикозе – между $_{ИПД}I_{max}/S$ и $_{ИПД}T_4$ ($r = –0,54$, $p < 0,05$), между $_{ИПД}S$ и $_{ИПД}$свТ$_3$ ($r = –0,74$, $p < 0,05$), $_{ИПД}I_{max}$ и $_{ИПД}$свТ$_3$ ($r = –0,76$, $p < 0,05$).

Таким образом, нами отмечено повышение активности ПОЛ у больных с гипотиреозом и тиреотоксикозом. Связь ПОЛ и функционального состояния щитовидной железы подтверждается снижением содержания продуктов ПОЛ у больных в ходе лечения и улучшения тиреоидного статуса как при гипотиреозе, так и тиреотоксикозе, причем есть параллелизм между темпами нормализации тиреоидного метаболизма и содержанием продуктов ПОЛ.

ОТ способна оказывать прооксидантное действие, что проявляется у больных гипотиреозом в росте I_{max}, ДК, ТК. Это свидетельствует о необходимости лабораторного контроля за ОТ, а также о целесообразности применения антиоксидантов при проведении ОТ.

У больных тиреотоксикозом существенных изменений активности ПОЛ нами не выявлено, хотя такие сведения в литературе имеются [1, 2]. Анализ показал, что в этих работах ОТ использовалась в основном у впервые выявленных больных и снижение активности ПОЛ происходило у пациентов параллельно с падением концентрации тиреоидных гормонов.

Таблица 2

Динамика гормонов тиреоидного статуса и системы ПОЛ-АОЗ у пациентов с гипотиреозом

Показатель	Группа без ОТ (*n* = 10)	Группа с ОТ (*n* = 12)
ТТГ, мМЕд/л	17,79±4,08	10,11±3,31
	12,07±5,23	15,43±5,25
T_3, нмоль/л	1,48±0,11	1,50±0,21
	1,57±0,19	1,68±0,45
T_4, нмоль/л	94,5±24,5	120,3±31,6
	136,22±36,54	120,96±20,39
свT_3, пмоль/л	4,82±0,49	4,72±0,30
	6,85±0,35	6,20±0,48
свT_4, пмоль/л	12,1±2,88	12,65±1,91
	17,4±2,36	18,63±4,54
S, mV×c	32,46±2,52	30,81±2,11
	30,18±3,68	36,97±2,98
I_{max}, mV	4,31±0,53	3,48±0,24
	3,59±0,43*	4,14±0,34*
I_{max}/S, c^{-1}	0,131±0,007	0,114±0,005
	0,119±0,006	0,112±0,003
tgα, mV/c	1,26±0,19	0,94±0,09
	0,94±0,13	1,11±0,13
МДА, е.э.	2,34±0,66	2,04±0,65
	2,34±0,85	2,52±0,63*
ДК, е.э.	0,34±0,07	0,42±0,10
	0,26±0,16*	0,53±0,11*
ТК, е.э.	0,068±0,013	0,057±0,009
	0,056±0,024*	0,059±0,009
I_{max}/ОЛ, отн. ед.	1,07±0,26	0,70±0,07
	0,78±0,17	0,68±0,09
СОД, ед./г Hb	1642±142	1652±85
	2307±90	2410±98
S/ОЛ, отн. ед.	7,795±1,78	6,197±0,576
	6,217±1,167	6,126±0,826

Примечание. * – достоверность динамических различий по Вилкоксону с $p < 0,05$.

Таблица 3

Динамика гормонов тиреоидного статуса и продуктов ПОЛ у пациентов с тиреотоксикозом

Показатель	Группа без ОТ (*n* = 8)	Группа с ОТ (*n* = 35)
ТТГ, мМЕд/л	0,19±0,08	0,23±0,07
	0,21±0,1	0,40±0,12
T_3, нмоль/л	2,98±0,88	3,91±0,32
	2,44±0,52*	3,70±0,52*
T_4, нмоль/л	142,13±31,42	215,74±20,43
	111,55±22,83	179,42±20,36
свT_3, пмоль/л	8,95±3,53	8,75±1,83
	9,08±2,92	8,06±2,13*
свT_4, пмоль/л	40,89±4,9	36,42±4,7
	36,29±2,0*	17,16±1,8*
S, mV×c	39,83±6,03	36,72±1,64
	30,54±7,57	34,17±2,05
I_{max} , mV	5,12±0,95	4,27±0,19
	3,58±0,99	3,93±0,25
I_{max}/S , c^{-1}	0,13±0,01	0,12±0,01
	0,11±0,01	0,11±0,01
tgα, mV/c	1,41±0,36	1,13±0,07
	0,95±0,26	1,03±0,08
МДА, е.э.	1,52±0,66	1,49±0,28
	2,05±1,50	2,22±0,43*
ДК, е.э.	0,231±0,134	0,368±0,046
	0,344±0,120	0,260±0,042
ТК, е.э.	0,05±0,02	0,11±0,03
	0,06±0,02	0,06±0,01*
I_{max} /ОЛ, отн. ед.	1,28±0,18	1,45±0,18
	1,21±0,63	1,49±0,57
СОД , ед./г Hb	987±312	1224±762
	1706±811	856±250
S/ОЛ , отн.ед.	9,95±1,13	12,54±1,65
	10,5±5,79	12,71±5,02

Примечание. * – достоверность динамических различий по Вилкоксону с $p < 0,05$.

Можно полагать, что активация ПОЛ у пациентов с патологией ЩЖ в большей степени обусловлена нарушением ее функционального состояния. Системные эффекты ОТ (регуляция вазодилатации и вазоконстрикции, активация энергетического обмена, модуляция окислительно-восстановительного гомеостаза, иммуномодуляция) способствуют повышению эффективности проводимой медикаментозной терапии различных заболеваний. В связи с этим проведение ОТ целесообразно и у больных с гипотиреозом и тиреотоксикозом, несмотря на потенциальную активацию процессов ПОЛ.

Выводы: 1. У пациентов с гипотиреозом и тиреотоксикозом наблюдается активация перекисного окисления липидов по данным биохемилюминесценции: I_{max}, *S*, tgα и увеличение содержания в крови продуктов перекисного окисления липидов: диеновых конъюгатов, триеновых конъюгатов, малонового диальдегида.

2. Нормализация функционального состояния щитовидной железы у больных способствует снижению активности перекисного окисления липидов при гипотиреозе.

3. Озонотерапия потенциально способна активировать ПОЛ, особенно при гипотиреозе, что требует лабораторного контроля при использовании данного метода и, возможно, превентивного назначения антиоксидантов.

Литература

1. *Арсютов Г.П.* Анализ эффектов инфузионной терапии в комплексном лечении диффузно-токсического зоба: автореф. дис. … канд. мед. наук. Чебоксары, 1999. 23 с.

2. *Водякова А.В.* Патогенетическое обоснование применения озонотерапии при токсическом зобе: автореферат дис. канд. … мед. наук. Саранск, 2009.

3. Интегральный показатель для оценки динамики клинико-лабораторных показателей в медицине / *И.В. Мадянов, В.Н. Саперов, В.Л. Григорьев и др.* // Вестник Чувашского университета. 1995. № 2. С. 81-86.

4. *Каплиева М.П.* Влияние L-тироксина на процессы перекисного окисления липидов и антиоксидантную систему у детей и подростков, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Морфофункциональные системы действия радионуклеотидов на процессы антенатального и постнатального развития: сб. науч. тр. / Гомельск. гос. мед. ин-т. Гомель, 1996. С. 67-69.

5. *Конторщикова К.Н.* Перекисное окисление липидов в норме и патологии: учеб. пособие. Н. Новогород: НижГМА, 2000. 24 с.

6. *Кузьмина Е.И., Нелюбин А.С., Щенникова М.К.* Применение индуцированной биохемилюминесценции для оценок свободнорадикальных реакций в биологических субстратах // Биохимия и биофизика микроорганизмов: межвуз. сб. Горький: ГГУ, 1983. С. 41-48.

7. *Марзоев А.И., Клебанов Г.И., Шерстнев М.П., Андрющенко А.П.* Перекисное окисление липидов сыворотки крови кроликов с различным тиреоидным состоянием // Вопросы медицинской химии. 1985. № 2. С. 14-16.

8. *Марчюлените Д.Ю.* Значение продуктов перекисного окисления липидов и антиоксидантных витаминов Е и А в патогенезе заболеваний щитовидной железы: автореф. дис. .. канд. биол. наук. Каунас, 1992. 25 с.

9. *Павловский М.П., Тимочко М.Ф., Лукавецкий А.В., Ткаченко О.Р.* Процессы перекисного окисления липидов в крови и ткани печени при гипо- и гиперфункции щитовидной железы в эксперименте // Проблемы патологии в эксперименте и клинике: сб. науч. тр. Харьковского мед. ин-та. 1986. № 8. С. 114-115.

10. *Уфимцева Е.А.* Патофизиологическое обоснование применения озонотерапии при эндемическом зобе с пониженной функцией щитовидной железы на фоне ожирения: автореф. дис. … канд. мед. наук. Саранск, 2005.

13. *Щербатюк Т.Г.* Современное состояние озонотерапии в медицине. Перспективы применения в онкологии // Современные технологии в медицине. 2010. № 1. С. 99-106.

14. *Eyquem A.* Immunopatologie de la thyroidite de Hachimoto // Eurobiologiste. 1998. Vol. 32, № 235. P. 9-15.

15. Influence of hyper- and hypothyroidism on lipid peroxidation, unsaturation of phospholipids, glutathione system and oxidative damage to nuclear and mitochondrial DNA in mice skeletal muscle / *R. Gredilla1, M. López Torres1, M. Portero-Otín et al.* // Molecular and Cellular Biochemistry. 2001. Vol. 221, № 1-2. P. 41-48.

16. Peripheral parameters of oxidative stress in Graves' disease. The effects of methimazole and 131-Iodine treatments / *M. Abalovich, M. Repetto, M. Loto et al.* // Clinical Endocrinology. 2003. Vol. 59. P. 321.

17. The effect of hypothyroidism, hyperthyroidism, and their treatment on parameters of oxidative stress and antioxidant status / *H. Erdamar, H. Demirci, H. Yaman et al.* // Clin. Chem. Lab. Med. 2008. Vol. 46(7). P. 1004-1010.

ТУКТАНОВ НИКОЛАЙ ВАЛЕРИАНОВИЧ – заведующий лабораторией, Республиканский Центр по профилактике и борьбе со СПИД и инфекционными заболеваниями, Россия, Чебоксары (ntukt@mail.ru).

TUKTANOV NIKHOLAY VALERIANOVICH – head of laboratory, Republican Center for Prevention and Control of AIDS and Infectious Diseases, Russia, Cheboksary.

УДК 616.441-008.64; 616.441-008.61; 616-008.9
ББК 54.15

Н.В. ТУКТАНОВ, В.А. КИЧИГИН

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ ПРИ НАРУШЕНИИ ФУНКЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Ключевые слова: *перекисное окисление липидов, щитовидная железа, гипотиреоз, гипертиреоз, хемилюминесценция.*

Изучена активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной защиты у 29 доноров, 23 больных гипотиреозом, 43 больных гипертиреозом, 43 больных эутиреоидной патологией щитовидной железы. Наряду с содержанием тиреоидных гормонов учитывали максимальную интенсивность и показатель светосуммы индуцированной хемилюминесценции, содержание в крови триеновых и диеновых конъюгатов, малонового диальдегида, активность фермента супероксиддисмутазы (СОД). При патологии щитовидной железы выявлено повышение активности ПОЛ, особенно при гипотиреозе и тиреотоксикозе. При тиреотоксикозе наблюдается снижение активности СОД, тяжесть тиреотоксикоза связана с усилением активности ПОЛ.

N.V. TUKTANOV, V.A. KICHIGIN

FEATURES LIPID PEROXIDATION OF THYROID DYSFUNCTION

Key words: *lipid peroxidation, the thyroid gland, hypothyroidism, hyperthyroidism, chemiluminescence.*

The activity of lipid peroxidation (LPO) and antioxidant protection in 29 donors, 23 patients with hypothyroidism, 43 patients with hyperthyroidism, 43 euthyroid patients with thyroid cancer. Along with the content of the thyroid hormones, the maximum intensity and an indicator light sum induced chemiluminescence, the blood levels of triene and diene conjugates and malondialdehyde, the activity of the enzyme superoxide dismutase (SOD). When thyroid gland revealed increased activity of lipid peroxidation, especially in hypothyroidism and hyperthyroidism. Thyrotoxicosis showed reduced SOD activity, the severity of hyperthyroidism is associated with increased activity of lipid peroxidation.

Активация основного процесса свободнорадикального окисления и его ключевого звена – перекисного окисления липидов (ПОЛ) – является признаком многих заболеваний [4]. Изменения активность ПОЛ наблюдаются и при нарушении функции ЩЖ. В физиологических концентрациях тиреоидные гормоны проявляют антиоксидантные свойства [1], в высоких концентрациях – прооксидантные [2]. В этих условиях и при гипотиреозе, и при тиреотоксикозе должна происходить активация ПОЛ.

При гипотиреозе наблюдаются высокие цифры малонового диальдегида (МДА) [3], ДК [7]. Чем сильнее выражено отклонение от нормы уровней тиреоидных гормонов, тем значительнее возрастает интенсивность ПОЛ [8]. При гипотиреозе выявлено снижение активности системы антиоксидантной защиты – АОЗ [10], в частности активности каталазы и пероксидазы [3, 8], глютатионпероксидазы [12], супероксиддисмутазы [3]. Наряду с этим есть данные о повышении содержания растворимых антиоксидантов при гипотиреозе по данным биохемилюминесценции [6].

Есть сведения об усилении процессов ПОЛ и снижении АОЗ при тиреотоксикозе [15]. У больных диффузно-токсическим зобом отмечено значительное повышение уровня МДА [9]. Есть свидетельства об угнетении АОЗ при тиреотоксикозе, причем одновременно может выявляться дефицит в нескольких звеньях: снижении активности СОД, каталазы, глютатиона [14].

Таким образом, данные литературы свидетельствуют о повышении активности ПОЛ при нарушении функции ЩЖ. Представляют интерес уточнение связи активности ПОЛ с содержанием тиреоидных гормонов, тяжестью и длительностью болезни, возрастом, наличием антител к ЩЖ, изучения влияния терапии гипо- и гипертиреоза на состояние ПОЛ.

Материалы и методы исследования. Обследовано 129 человек, из них 100 – пациенты эндокринологического отделения Республиканской клиниче-

ской больницы Минздрава Чувашии. У 23 из них был гипотиреоз (послеоперационный и на фоне аутоиммунного тиреоидита), у 43 – гипертиреоз (аутоиммунный тиреоидит, диффузно-токсический зоб, узловой токсический зоб), у 34 – эутиреоз (диффузный нетоксический зоб, узловой эутиреидный зоб, подострый тиреодит). Средний возраст пациентов – 47,2±1,3 года (здесь и далее $M \pm m$), женщин было 86, мужчин – 14.

Контрольную группу составили 29 практически здоровых представителей случайной выборки популяции, сопоставимые по возрастно-половому составу, клиническим группам, средний возраст 27,3±1,5 года. Женщин было 16, мужчин – 13.

Проводилось исследование состояния перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной системы сыворотки крови (АОС). Для предварительной оценки интенсивности свободнорадикального окисления использовался метод индуцированной хемилюминесценции (ХЛ) сыворотки крови [5]. В качестве активаторов использовали 0,05 М раствор сульфата железа и 2%-ный раствор перекиси водорода. Измерение интенсивности свечения осуществляли в течение 30 с на приборе биохемилюминометре БХЛ-06 (Россия, Нижний Новгород). Брались следующие показатели: 1) I_{max} (mV) – максимальная интенсивность свечения, которая отражает потенциальную способность биологического объекта к ПОЛ; значение этой величины зависит от концентрации общих липидов (ОЛ) в плазме крови, поэтому дополнительно вычисляется отношение I_{max}/ОЛ; 2) S – светосумма (за 30 с) – отражает содержание радикалов, соответствующих обрыву цепи свободнорадикального окисления, обратно пропорциональна активности антиоксидантной системы, для определения антиоксидантной активности вычисляется отношение S/ОЛ; 3) отношение I_{max}/S, характеризующее общую антиоксидантную активность плазмы крови; 4) $\mathrm{tg}\alpha$ – показатель, который характеризует скорость спада процессов свободнорадикального окисления в плазме и коррелирует с индексом I_{max}/S.

Измеряли уровни первичных (диеновых конъюгатов – ДК и триеновых конъюгатов – ТК) и вторичных продуктов ПОЛ (малонового диальдегида – МДА). Измерение оптической плотности МДА, ДК, ТК проводили на спектрофотометре СФ-46 фирмы «ЛОМО» (Ленинград, СССР). Содержание ДК определяли в метанол-гексановой липидной фракции (5:1) при длине волны поглощения 233 нм, ТК – в той же фракции при длине волны 275 нм, МДА – при длине волны 532 нм. Активность СОД в мембране эритроцитов определяли по методике M. Nishicimi et al. (1972) [13]. Для определения активности СОД использовали диагностические наборы фирмы «RANDOX». Экстракцию липидов из сыворотки крови проводили по методике J. Folch (1957) [11]. Полученные результаты представляли в единицах оптической плотности (единицах экстинции – е.э.) на 1 мг общих липидов (ОЛ).

Изучали содержание тиреотропного гормона (ТТГ), общего и свободного трийодтиронина ($Т_3$, $свТ_3$), общего и свободного тироксина ($Т_4$, $свТ_4$), антител к тиреоглобулину (АТТГ), антител к тиреопероксидазе (АТТП). Уровни гормонов определяли на аппарате «Мультискан» при помощи иммуноферментных наборов, произведенных фирмой «Хема-Медика» (Россия) и фирмой Labodia S.A. (Швейцария).

Статистический анализ проводили в программе STATISTICA 6.0 в среде Windows. Вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку ($M \pm m$), коэффициент линейной корреляции (r). О различиях между несвязанными выборками судили по U-критерию Манна–Уитни ($p_{m\text{-}u}$), между связанными выборками – по критерию Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки (p) менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. В группах больных с патологией ЩЖ регистрировалась более высокая активность свободнорадикального окисления по сравнению с таковой в контрольной группе, регистрируемая по интегральной оценке – результатам ХЛ, а также по высокому содержанию продуктов ПОЛ (табл. 1). У больных тиреотоксикозом оказалась значительно снижена и активность СОД.

Таблица 1

Состояние ПОЛ и АОЗ в норме и при различном функциональном состоянии ЩЖ

Показатель	Группа сравнения (n = 29)	Функциональное состояние ЩЖ		
		гипотиреоз (n = 23)	эутиреоз (n = 34)	тиреотоксикоз (n = 43)
S, mV×c	24,62±1	31,6±1,6***	36,4±1,96***	37,08±1,59***
I_{max}, mV	2,47±0,17	3,88±0,29***	4,86±0,37***	4,40±0,21***
I_{max}/S, c^{-1}	0,098±0,004	0,122±0,004***	0,133±0,005***	0,120±0,003***
tgα, mV/c	0,66±0,06	1,09±0,11*	1,46±0,17*	1,17±0,08*
МДА, е.э.	1,05±0,29	2,19±0,45*	1,25±0,25	1,47±0,24*
ДК, е.э.	0,17±0,02	0,39±0,06**	0,32±0,06**	0,35±0,04**
ТК, е.э.	0,037±0,001	0,061±0,007**	0,057±0,007*	0,106±0,031*
ОЛ, г/л	4,73±0,3	5,27±0,45	5,27±0,26	4,35±0,36
I_{max}/ОЛ, отн. ед.	0,49±0,06	0,89±0,14*	1,08±0,18**	1,40±0,14***
СОД, ед./г Hb	1454±75	1648±68	1322±379	1089±336*
S/ОЛ, отн. ед.	10,41±0,47	7,00±0,93	7,88±0,92	11,9±1,35***

Примечание. Значимость различий с группой сравнения: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

Обращает на себя внимание то, что уже при эутиреодной патологии ЩЖ наблюдается активация ПОЛ, однако содержание ДК, ТК, МДА было несколько ниже по сравнению с таковым в группах больных гипотиреозом и гипертиреозом. Наиболее высокие показатели активности ПОЛ по показателям ХЛ (I_{max}/ОЛ, S/ОЛ) и снижение активности СОД наблюдали в группе с тиреотоксикозом.

Соответственно, наблюдалась и высокая частота сверхнормативных значений ПОЛ у пациентов с патологией ЩЖ. Самая большая распространенность сверхнормативных параметров ПОЛ наблюдалась у пациентов с тиреотоксикозом (табл. 2).

Таблица 2

Частота высоких параметров ПОЛ при различном функциональном состоянии ЩЖ, %

Показатель	Гипотиреоз	Эутиреоз	Тиреотоксикоз
S, mV×c	52,2	45,6	74,4
I_{max}, mV	43,5	47,4	69,8
I_{max}/ ОЛ, отн. ед.	37,5	46,2	80,0
МДА, е.э.	28,0	26,7	25,0
ДК, е.э.	60,0	27,6	65,0
ТК, е.э.	66,7	33,3	81,0

Сдвиги в системе ПОЛ–АОЗ у пациентов с тиреотоксикозом усиливались при нарастании гормональных сдвигов. Больным с тяжелой степенью тиреотоксикоза по сравнению с больными среднетяжелым тиреотоксикозом соответствовали более высокие уровни S, МДА, ДК и низкие уровни СОД (табл. 3).

Показатели ПОЛ коррелировали с параметрами, отражающими особенности течения заболевания. АТТГ у больных гипотиреозом коррелировали с S (+0,56) и I_{max} (+0,59), ТТГ с концентрацией ДК (+0,54) и ТК (+0,65), стаж болезни с I_{max} (+0,68).

У больных с эутиреодной патологией ЩЖ уровень ТТГ коррелировал с S (+0,44), I_{max}/ОЛ (+0,51); уровень $свТ_4$ – с МДА (–0,61), ДК (–0,65), ТК (–0,70); уровень АТТП – с S (+0,85), I_{max} (+0,91). При тиреотоксикозе уровень $свТ_4$ коррелировал с содержанием ТК (+0,89) и СОД (–0,81).

С учетом возможности связи нарушений ПОЛ с высоким титром антител к ЩЖ проанализировано состояние системы ПОЛ-АОЗ у пациентов в зависимости от функционального состояния ЩЖ и наличия высоких титров антител, в частности у пациентов с гипотиреозом (табл. 4).

Таблица 3

Состояние системы ПОЛ-АОЗ в зависимости от тяжести тиреотоксикоза

Показатель	Тяжесть тиреотоксикоза		$p_{m\text{-}u}$<
	средняя (n = 34)	тяжелая (n = 9)	
ТТГ, мМЕд/л	0,26±0,07	0,08±0,02	0,05
T_3, нмоль/л	3,77±0,34	4,04±0,77	-
T_4 , нмоль/л	206,63±23,14	185,23±19,32	-
свT_3 , пмоль/л	8,79±1,79	8,86±2,79	-
свT_4, пмоль/л	35,75±4,89	37,26±8,22	-
S, mV×c	36,17±1,9	40,54±2,2	0,05
I_{max}, mV	4,32±0,26	4,71±0,16	-
I_{max}/S, c^{-1}	0,12±0	0,12±0,01	-
tgα, mV/c	1,17±0,1	1,18±0,08	-
МДА , е.э.	1,36±0,29	1,72±0,48	0,05
ДК, е.э.	0,31±0,03	0,48±0,12	0,05
ТК, е.э.	0,12±0,04	0,07±0,01	-
Об липиды, г/л	4,48±0,46	4,07±0,56	-
I_{max}/ОЛ, отн. ед.	1,42±0,19	1,35±0,19	-
СОД, ед./г Hb	1329±432	487±48	0,05
S/ОЛ, отн. ед.	11,9±1,79	11,89±1,84	-

Таблица 4

Уровни тиреоидных гормонов и параметры ПОЛ у пациентов с гипотиреозом в зависимости от уровня антитиреоидных антител

Показатель	Титр АТТП		$p_{m\text{-}u}$<
	нормальный (n = 14)	высокий (n = 9)	
ТТГ, мМЕд/л	10,02±3,27	14,85±4,62	-
T_3, нмоль/л	1,43±0,2	1,58±0,28	-
T_4 , нмоль/л	131,43±36,84	117,67±42,59	-
свT_3, пмоль/л	5,1±0,7	4,25±0	-
свT_4, пмоль/л	13,18±1,7	17,49±3,85	-
S , mV×c	27,63±1,76	35,09±2,6	0,05
I_{max} , mV	3,22±0,21	4,53±0,63	0,05
I_{max}/S , c^{-1}	0,12±0	0,13±0,01	-
tgα, mV/c	0,88±0,05	1,31±0,24	-
МДА , е.э.	2,2±0,66	2,19±0,72	-
ДК, е.э.	0,26±0,07	0,47±0,11	0,05
ТК , е.э.	0,045±0,01	0,071±0,01	0,05
Об липиды, г/л	4,79±0,40	6,43±0,81	-
I_{max}/ОЛ, отн. ед.	0,73±0,07	0,91±0,29	-
S/ОЛ, отн. ед.	6,29±0,67	6,39±1,31	-

У больных гипотиреозом с высокими титрами АТТП по сравнению с пациентами с низкими титрами антител отсутствовали статистически значимые различия по уровню тиреоидных гормонов, но достоверно выше были S, I_{max}, ДК и ТК (табл. 3).

У пациентов с тиреотоксикозом подобные отличия найдены по уровню МДА, который при высоком титре АТТП составил 2,56±0,65 е.э., при низком титре – 1,06±0,15 е.э.

Так, формирование I_{max} при проведении ХЛ является интегральной суммой свободнорадикальных реакций, протекающих с образованием различных молекулярных продуктов ПОЛ. Представляло интерес выяснить, насколько весом вклад каждого из изучаемых параметров ПОЛ при патологии ЩЖ. С этой целью применен метод множественной регрессии.

В результате анализа у пациентов с тиреотоксикозом получено уравнение, указывающее на количественную зависимость интенсивности свечения свободных радикалов от уровней изучаемых параметров системы ПОЛ-АОЗ:

$$I_{max} = 0,28 + 0,23 \cdot МДА^{*} - 0,05 \cdot ДК + 0,18 \cdot ТК^{*} - 0,06 \cdot СОД^{*}.$$

Из уравнения видно, что наибольший вклад в интенсивность свечения вносят МДА и ТК, в то время как повышение концентраций СОД и ДК ассоциируется со снижением интенсивности свечения. При эутиреоидном и гипотиреодном состоянии значимых связей при проведении регрессионного анализа не установлено.

Таким образом, в физиологических условиях (эутиреоз) тиреоидные гормоны проявляют антиоксидантные свойства, о чем свидетельствуют положительные корреляционные связи ТТГ с S и I_{max}/ОЛ и отрицательные связи содержания свT_4 с МДА, ДК и ТК.

[1] Знаком * в уравнении обозначена статистическая значимость членов уравнения.

В условиях гипотиреоза и тиреотоксикоза происходит активация ПОЛ, а при тиреотоксикозе активация ПОЛ выражена еще сильнее, причем идет она параллельно с депрессией АОЗ (см. табл. 1). Есть связь активности ПОЛ с тяжестью тиреотоксикоза. При тяжелом тиреотоксикозе достоверно растут *S*, ДК, ТК и сильно падает активность СОД (см. табл. 2). У больных с тиреотоксикозом уровень $свТ_4$ прямо коррелировал с ТК и обратно коррелировал с СОД.

В активацию ПОЛ может «вносить лепту» и высокий титр антитиреоидных антител, что наблюдается у больных с тиреотоксикозом и гипотиреозом. Особенно это характерно для гипотиреоза, где при сопоставимом уровне тиреоидных гормонов достоверно повышаются ДК и ТК.

Так как свободнорадикальное окисление при ХЛ является интегральной суммой свободнорадикальных реакций, протекающих с образованием различных молекулярных продуктов ПОЛ, применен метод множественной регрессии. При регрессионном анализе у больных тиреотоксикозом выявлен существенный вклад содержания МДА и ТК и менее значительный вклад низкой активности СОД в интенсивность свободнорадикального окисления по данным биохемилюминесценции.

Высокое содержание продуктов ПОЛ при патологии щитовидной железы показывает целесообразность лабораторного контроля для дополнительной оценки тяжести заболевания.

Выводы: 1. У пациентов с гипотиреозом и тиреотоксикозом наблюдается активация ПОЛ по данным биохемилюминесценции (I_{max}, *S*, tga) и по содержанию в крови продуктов перекисного окисления липидов: диеновых конъюгатов, триеновых конъюгатов, малонового диальдегида.

2. Содержание продуктов ПОЛ у больных гипотиреозом и тиреотоксикозом выше, чем у пациентов с эутиреоидной патологией щитовидной железы, что говорит о влиянии на свободнорадикальное окисление уровней тиреоидных гормонов.

3. Активность перекисного окисления липидов больше выражена у больных тиреотоксикозом, чем у больных гипотиреозом. Активность свободнорадикального окисления, по данным регрессионного анализа, зависит преимущественно от содержания в крови малонового диальдегида и триеновых конъюгатов и в меньшей степени – от снижения активности главного фермента антиоксидантной защиты – супероксиддисмутазы.

4. У больных гипотиреозом с повышенным титром антител к тиреопероксидазе наблюдается более высокая активность ПОЛ, чем у больных с нормальным титром антител.

Литература

1. *Владимиров Ю.А., Гукасов В.М., Федоров В.К., Сергеев П.В.* Действие тироксина на перекисное окисление липидов в мембранах митохондрий // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1977. Т. 83, № 5. С. 558-561.

2. *Данис Ю.К., Марчюлените Д.Ю. Даните Э.Ю., Черняускене Р.И.* Витамин Е и малоновый диальдегид в сыворотке крови у больных тиреотоксикозом // Проблемы эндокринологии. 1990. № 5. С. 21-23.

3. *Каплиева М.П.* Влияние L-тироксина на процессы перекисного окисления липидов и антиоксидантную систему у детей и подростков, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Морфофункциональные системы действия радионуклеотидов на процессы антенатального и постнатального развития: сб. науч. тр. / Гомельск. гос. мед. ин-т. Гомель, 1996. С. 67-69.

4. *Конторщикова К.Н.* Перекисное окисление липидов в норме и патологии: учеб. пособие. Н. Новогород: НижГМА, 2000. 24 с.

5. *Кузьмина Е.И., Нелюбин А.С., Щенникова М.К.* Применение индуцированной биохемилюминесценции для оценок свободнорадикальных реакций в биологических субстратах // Биохимия и биофизика микроорганизмов: межвуз. сб. Горький: ГГУ, 1983. С. 41-48.

6. *Марзоев А.И., Клебанов Г.И., Шерстнев М.П., Андрющенко А.П.* Перекисное окисление липидов сыворотки крови кроликов с различным тиреоидным состоянием // Вопросы медицинской химии. 1985. № 2. С. 14-16.

7. *Марчюлените Д.Ю.* Значение продуктов перекисного окисления липидов и антиоксидантных витаминов Е и А в патогенезе заболеваний щитовидной железы: автореф. дис. … канд. биол. наук. Каунас, 1992. 25 с.

8. *Павловский М.П., Тимочко М.Ф., Лукавецкий А.В., Ткаченко О.Р.* Процессы перекисного окисления липидов в крови и ткани печени при гипо- и гиперфункции щитовидной железы в эксперименте // Проблемы патологии в эксперименте и клинике: сб. науч. тр. Харьковского мед. ин-та. 1986. № 8. С. 114-115.

9. *Bednarek J., Wysocki H., Sowinski, J.* Oxidation products and antioxidant markers in plasma of patients with Graves' disease and toxic multinodular goiter: effect of methimazole treatment // Free Radic. Res. 2004. Vol. 38(6). P. 659-664.

10. *Eyquem A.* Immunopatologie de la thyroidite de Hachimoto // Eurobiologiste. 1998. Vol. 32, № 235. P. 9-15.

18. *Folch J., Lees M., Staley G.* A simple method for the isolated and purificarion of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 22. P. 497-499.

19.Influence of hyper- and hypothyroidism on lipid peroxidation, unsaturation of phospholipids, glutathione system and oxidative damage to nuclear and mitochondrial DNA in mice skeletal muscle / *R. Gredilla, M. López Torres, M. Portero-Otín et al.* // Molecular and Cellular Biochemistry. 2001. Vol. 221, № 1-2. P. 41-48.

20.*Nishicimi M., Roo A., Xagi K.* The occurrence of superoxide anion in reactions of redused phenaxinemetasulfate and molecular oxygen // Biochem. Biophys. res. commun. 1972. Vol. 146, № 2. P. 849-854.

21.Peripheral parameters of oxidative stress in Graves' disease. The effects of methimazole and 131-Iodine treatments / *M. Abalovich, M. Repetto, M. Loto et al.* // Clinical Endocrinology. 2003. Vol. 59. P. 321.

22. The effect of hypothyroidism, hyperthyroidism, and their treatment on parameters of oxidative stress and antioxidant status / *H. Erdamar, H. Demirci, H. Yaman et al.* // Clin. Chem. Lab. Med. 2008. Vol. 46(7). P. 1004-1010.

ТУКТАНОВ НИКОЛАЙ ВАЛЕРИАНОВИЧ. См. с. 554.

КИЧИГИН ВАДИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии № 1 с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (vadim-kichigin@mail.ru).

KICHIGIN VADIM ALEKSANDROVICH – candidate of medical sciences, assistant professor of Hospital Therapy № 1 Chair with a course of phthisiology, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.36-091:618.2+618.36-091:618.398
ББК 57.16

М.В. ФЕДОРОВА, Т.Л. СМИРНОВА

ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ ПЛАЦЕНТ ПРИ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ И ИСТИННО ПЕРЕНОШЕННОЙ БЕРЕМЕННОСТИ

Ключевые слова: *плацента, иммуногистохимия, иммуномаркер эндотелиальных клеток CD34, переношенная беременность.*

Изучены иммуногистохимические особенности экспрессии CD34 при физиологической, пролонгированной и истинно переношенной беременности у пациенток Чувашской Республики. У женщин с переношенной беременностью отмечается низкая интенсивность иммуноэкспрессии маркера CD34.

M.V. FEDOROVA, T.L. SMIRNOVA
IMMUNOHISTOCHEMICAL DIFFERENCES IN THE PLACENTAS OF PROLONGED AND THE TRUE POST-TERM PREGNANCY

Key words: *placenta, immunohistochemistry, immunomarker endothelial cell CD34, prolonged pregnancy.*

Immunohistochemical peculiarities of CD34markers expression during physiological and prolonged and veritably post term pregnancy with patients in Chuvash Republic. Women with post term pregnancy demonstrate a low intensity immunoexpression of marker CD34.

В последние годы внимание специалистов привлекают иммуногистохимические исследования плаценты. Исследования сыворотки крови беременных показали иммунореактивность к основному белку миелина, белку S100b, белку ядерного хроматина АСИ314/18, белку адгезии МР65. В исследованиях уделяется внимание VEGF, PlGF и их рецепторам Flt-1 (VEGFR-1), KDR (VEGFR-2), Flt-4 (VEGFR-3) и нейропилинам 1 и 2 [2]. При герпесвирусной инфекции не происходит изменений в продукции клетками плаценты VEGF, при плацентарной недостаточности снижаются экспрессия VEGFR-3, продукция bFGF, увеличивается

экспрессия антиангиогенного фактора Tsp-1 [1]. При плацентарной недостаточности увеличивается экспрессия проапоптозного белка p53, снижается экспрессия белка Mcl-1. Противовирусный иммунный ответ связан с активацией естественных киллеров, CD 4+ Th1-лимфоцитов и CD8+ цитотоксических лимфоцитов. CD34 – маркер ранней дифференцировки клеток-предшественников гемопоэза, эндотелиальных клеток. Доказана индуцирующая роль эндотелиальных молекул адгезии в процессе цитотрофобластической инвазии [3]. Не изучены вопросы, касающиеся особенностей локализации маркеров плацентарной недостаточности CD34.

Цель исследования – изучение иммуногистохимических особенностей экспрессии CD34 при физиологической, пролонгированной и истинно переношенной беременности у пациенток Чувашской Республики.

Материалы и методы исследования. В акушерских стационарах МУЗ «Городская клиническая больница № 1» г. Чебоксары собраны 3 группы последов у рожениц со следующими сроками беременности: 1-я группа (контроль), включающая 351 послед от женщин с физиологически протекавшей беременностью и срочными самопроизвольными родами с рождением здорового новорожденного; 2-я группа (40 последов) – от женщин с пролонгированной беременностью (41-42 недели) без явной патологии новорожденных; 3-я группа (25 последов) – от женщин с истинной переношенной беременностью 42-43 недели и проявлениями признаков переношенности у новорожденных.

В работе использован иммуногистохимический стрептавидин-биотин-пероксидазный метод [4, 5]. Плаценты родильниц после фиксации в 10%-ном растворе нейтрального формалина заливали парафином. Парафиновые срезы толщиной 5 мкм готовились на микротоме МПС-2, и после депарафинирования и регидратации в этаноле нисходящей концентрации срезы плаценты погружали в восстанавливающий цитратный буфер (pH 6,0). Затем проводили высокотемпературную обработку прогреванием на водяной бане при 90-95°С в течение 30 мин с целью демаскировки искомых антигенов в тканях. После ингибирования эндогенной пероксидазы 3%-ным раствором перикиси водорода на метаноле проводили иммуногистохимическую реакцию методом трехэтапного непрямого иммуноферментного анализа с использованием первичных моноклональных антител (МКАТ) к антигенным маркерам CD34 в разведении 1:100 согласно рекомендации фирмы-изготовителя (Dako, Дания). Визуализацию первичных МКАТ, связавшихся с антигенами, проводили стандартным биотин-стрептавидин-пероксидазным методом с использованием набора LSAB-2 (Labeled Streptavidin Biotin System Peroxidase). На заключительном этапе срезы докрашивались толуидиновым синим по Нисслю. Морфометрическое исследование участков плаценты проведено с применением компьютерного анализа микроскопических изображений. Аппаратное обеспечение состояло из микроскопа, цифровой камеры Canon, ПК на базе Intel Pentium 4, имеющего программное обеспечение для анализа изображений Sigma Scan Pro 5.0 (Systat). Границы каждого поля зрения ворсин хориона записывали в формате JPEG, размер ворсин составлял 118-535 пикселей при увеличении светового микроскопа 400, для каждого случая вычисляли площадь экспрессии иммуногистохимических маркеров.

Статистическая обработка полученных цифровых данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Office (Word и Excel). Оценка статистической значимости проводилась по *t*-критерию Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Положительная иммуногистохимическая реакция с антителами CD34 наблюдалась на всех препаратах в эндотелии капилляров ворсин.

Для исследования препаратов плаценты от женщин с физиологической доношенной беременностью и оценки степени выраженности васкуляризации в опорных, промежуточных и терминальных ворсинах использован спе-

циальный иммунногистохимический маркер эндотелия (CD34). Оказалось, что данный маркер визуализирует эндотелиальную выстилку сосудов всех типов: широких артериол и венул в составе опорных ворсин, второго и третьего порядка и промежуточных ветвей. В промежуточных и терминальных ветвях видно, что в 25-30% ворсин выявляются так называемые синцитиокапиллярные мембраны. Ворсины характеризуются сближением, синцитиотрофобласт истончен и формирует самые тонкие участки плацентарного барьера, что обеспечивает максимальную диффузионную способность плаценты в конце беременности. Площадь экспрессии CD34 в плацентах родильниц с физиологическим течением беременности составляет 7,8±0,009% (таблица).

Площадь экспрессии CD34 в плацентах беременных с физиологической, пролонгированной и истинно переношенной беременностями, %

Клинические группы	Площадь экспрессии,%
Физиологическая беременность	7,8±0,009
Пролонгированная беременность	2,3±0,005*
Истинно переношенная беременность	1,2±0,008*

Примечание. *$p < 0,05$ при сравнении с данными 1-й группы.

Гистохимические исследования препаратов плаценты от женщин с пролонгированной беременностью показали, что CD34-иммунопозитивными структурами являются хориальные ворсины: наблюдаются узкие просветы в сосудах опорных ворсин второго и третьего порядка, т.е. развивается облитерационная ангиопатия. В промежуточных и терминальных ветвях картина иммунораспространения CD34 маркера доказала наличие меньшего количество синцитиокапиллярных мембран. Площадь экспрессии CD34 маркера достоверно меньше, чем в 1-й группе, и составила 2,3±0,005% ($p < 0,05$) (таблица).

В препаратах плаценты после переношенной беременности иммуновизуализация эндотелиальных клеток показала узкие просветы в сосудах опорных и промежуточных ворсин, в терминальных ворсинах при наличии достаточного количества узких капилляров, расположенных преимущественно в центре стромы. Синцитиокапиллярные мембраны не визуализируются, поскольку даже близко расположенные к эпителию капилляры отделялись от синцитиотрофобласта прослойкой мезенхимальных клеток. Площадь экспресии CD34 значительно ниже уровня экспрессии этого маркера в других клинических группах – 1,2±0,008% ($p < 0,05$) (таблица).

На всех препаратах плаценты родильниц отмечена экспрессия исследуемого маркера CD34, что совпадает с рядом проведенных ранее исследований [3].

Анализ микроскопического строения плаценты выявил структурно-функциональные изменения этого органа при пролонгированной и истинно переношенной беременностях. При физиологической беременности маркер визуализирует эндотелиальную выстилку сосудов всех типов: широких артериол и венул в составе опорных ворсин, второго и третьего порядка и промежуточных ветвей. В патологический процесс вовлекаются все структурные компоненты плаценты: соединительная ткань, синцитиотрофобласт, сосуды. При пролонгированной беременности развивается облитерационная ангиопатия, уменьшается количество синцитиокапиллярных мембран. При переношенной беременности просветы сосудах опорных и промежуточных ворсин узкие, капилляры в терминальных ворсинах также узкие и расположены преимущественно в центре стромы ворсин. Следовательно, при переношенной беременности возникают структурно-функциональные изменения, приводящие к плацентарной недостаточности [2].

В процессе дифференцировки клеток экспрессия CD34 снижается. В наших исследованиях площадь экспрессии CD 34 маркера у женщин с физиологическим течением беременности значительно превышает площадь экспрессии этого маркеры у женщин с пролонгированной и переношенной беременностью.

Полученные результаты указывают, что продолжительность и особенности течения беременности влияют на степень васкуляризации ворсинчатого хориона.

Выводы. 1. В плаценте родильниц содержатся CD34-позитивные структуры.

2. Обнаруженные иммуногистохимические изменения в локализации и экспрессии маркера эндотелиальной дисфункции CD34 свидетельствуют о выраженных патоморфологических нарушениях в плацентарном комплексе при пролонгированной и истинно переношенной беременности.

Литература

1. Роль нарушений ангиогенеза в формировании плацентарной недостаточности при герпесвирусной инфекции / *А.В. Колобов, Д.И. Соколов, Л.И. Королева и др.*// Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 11. 2008. Вып. 2. С. 157-167.

2. Роль нарушений формирования ворсинчатого дерева в патогенезе плацентарной недостаточности / *Е.В. Лукьянова, И.Н. Волощук, А.Д. Липман и др.* // Акушерство и гинекология. 2009. № 2. С. 5-11.

3. Экстраэмбриональные и околоплодные структуры при нормальной и осложненной беременности / *В.Е. Радзинский, А.П. Милованов, И.М. Ордиянц и др.* М.: МИА, 2004. 393с.

4. *Sternberger L.A.* Immunocytochemistry of neuropeptides and their receptors. In peptides in Neurobiology. N.Y.; L.: Plenum Press, 1977. P. 61-97.

5. *Sternberger L.A., Petrali J.P.* The unlabeled antibody enzyme method. Attempted use of peroxidase-conjugated antigen as the third layer in the technique // J. Histochem. Cytochem. 1977. Vol. 25(9), Sep. P. 1036-1042.

ФЕДОРОВА МАРИНА ВЛАДИМИРОВНА – врач-патологоанатом, Республиканское патологоанатомическое бюро, Россия, Чебоксары.

FEDOROVA MARINA VLADIMIROVNA – forensic pathologist, Republican Pathoanatomical Institution, Russia, Cheboksary.

СМИРНОВА ТАТЬЯНА ЛЬВОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии имени Г.М. Воронцовой, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (tlsmr@mail.ru).

SMIRNOVA TATYANA LVOVNA – candidate of medical sciences, associate professor of Obstetrics and Gynecology Chair named after G.M. Vorontsova, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.12-008.318; 616-056.52; 616.12-008.331.1
ББК 54.10

Н.С. ЦЫПЛЕНКОВА, Е.И. ПАНОВА, В.А. КИЧИГИН, Т.Г. ДОМАНОВА

СВЯЗЬ МАССЫ ТЕЛА С ОСОБЕННОСТЯМИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У МУЖЧИН С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

Ключевые слова: *ожирение, артериальная гипертензия, фибрилляция предсердий, аритмия.*

Изучена распространенность нарушений ритма у служащих в полиции мужчин с артериальной гипертензией. Суточное мониторирование ЭКГ проведено 91 пациенту, из них 54 с ожирением, 28 – с избыточной, 9 – с нормальной массой тела. Установлено, что ожирение увеличивает вероятность развития предсердных экстрасистол, постоянной и пароксизмальной формы мерцания-трепетания предсердий. Наличие метаболического синдрома и ишемической болезни сердца увеличивает вероятность развития этих нарушений ритма.

N.S. TSYPLENKOVA, E.I. PANOVA, V.A. KICHIGIN, T.G. DOMANOVA

MASS COMMUNICATION FEATURES OF THE BODY OF HEART RATE IN MEN WITH ARTERIAL HYPERTENSION

Key words: *obesity, hypertension, atrial fibrillation, arrhythmia.*

Studied the prevalence of arrhythmias in male police officers to obesity and arterial hypertension. ECG monitoring conducted 91 patients, including 54 with obesity, 28 – were overweight, 9 – with normal weight. Found that the obesity increases the risk of atrial premature beats, and the constant flicker-paroxysmal atrial fibrillation. The presence of metabolic syndrome and coronary heart disease increases the risk of these arrhythmias.

Нарастание массы тела с развитием ожирения связано с повышенным риском смертности от любых причин, в первую очередь от сердечно-сосудистых заболеваний, как у мужчин, так и у женщин всех возрастных групп. Четкая связь между ожирением (ОЖ) и развитием сердечно-сосудистых осложнений

была установлена во фрамингемском исследовании [12]. ОЖ относится к факторам риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, а наличие ОЖ у больных ИБС способствует ее прогрессированию и повышению смертности [1]. Подтверждена взаимосвязь между риском смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и ОЖ [7, 8].

Одним из частых проявлений кардиальной патологии при ОЖ являются различные аритмии сердца, о чем свидетельствуют данные ряда исследователей. Так, М.Л. Глуховский выявил повышенную частоту наджелудочковых (НЖЭ) и желудочковых экстрасистол (ЖЭ), фибрилляции предсердий (ФП), блокад синусового узла и АВ-соединения у лиц с ОЖ, протекающим в рамках метаболического синдрома [2]. Существует большое количество публикаций, свидетельствующих о том, что ожирение является фактором, предрасполагающим к ФП [11, 13]. Доказано, что ФП встречается чаще у пациентов с ОЖ, чем у больных с его отсутствием, при этом ОЖ является значимым фактором риска пароксизмальной формы ФП, не связанным с размерами левого предсердия или возрастом [9].

Установлено, что гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ) является одним из факторов риска различных нарушений ритма сердца. Так, риск развития фибрилляции предсердий при увеличении размеров левого предсердия возрастает в 1,8 раза. Увеличение значений индекса массы миокарда ЛЖ приводит к троекратному возрастанию риска развития желудочковой экстрасистолии [6].

ГЛЖ часто наблюдается при ОЖ, при котором увеличенный ударный объем приводит к повышению сердечного выброса и развитию эксцентрической ГЛЖ [14]. Вероятность развития гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ) у лиц с нормальной массой тела составляет 5,5%, а у лиц с ОЖ – 29,9% [10]. Фрамингемское исследование продемонстрировало наличие высокодостоверной связи индекса массы тела (ИМТ) с размерами камер сердца и толщиной стенок ЛЖ, при этом указанные связи сохраняли свою достоверность с учетом наличия АГ [12].

Реализация аритмогенных эффектов ОЖ может усугубляться наличием артериальной гипертензии (АГ), характерной для ОЖ, которая также приводит к ГЛЖ. Даже небольшое повышение артериального давления (АД) у больных с ОЖ вызывает выраженное нарастание массы левого желудочка сердца. В случае сочетания артериальной гипертензии (АГ) и ОЖ происходит взаимное усугубление гемодинамических процессов, создается смешанная нагрузка на сердце – увеличивается пред- и постнагрузка. В результате влияния обоих факторов формируется смешанная форма гипертрофии миокарда [3].

Однако проблема распространенности нарушений ритма сердца, их характера, а также возможных ассоциированных факторов у особого контингента пациентов – мужчин-служащих полиции при сочетании ОЖ и АГ – изучена недостаточно.

Цель исследования – изучить частоту и характер нарушений ритма у мужчин с АГ в зависимости от массы тела, наличия стенокардии и метаболического синдрома.

Материалы и методы исследования. Обследовали 91 мужчину – служащих полиции Нижнего Новгорода с АГ в возрасте от 25 до 64 лет, средний возраст – 44,4±1,0 года. 54 человека страдали ОЖ I-III степени (I группа), при этом у 37 человек диагностирован метаболический синдром (МС); избыточная масса тела (МТ) наблюдалась у 28 человек (II группа), 9 пациентов имели нормальную МТ (III группа).

Обследование, помимо стандартного клинического, включило комплекс лабораторно-инструментальных методов – исследование гликемии натощак, липидограммы, креатинина, электролитов плазмы; инструментальные методы включали ЭХОКГ, ЭКГ покоя и холтеровское мониторирование ЭКГ. Эхокардиография

проводилась на аппарате LOGIQ 3, General Electric, США. Суточное ЭКГ-мониторирование (ЭКГ-КГ) осуществлялось с помощью системы Миокард – Холтер (НИМП «ЕСН», Россия).

Диагноз МС ставился на основании критериев, предложенных Национальной образовательной программой США по холестерину (ATP/NCEP III, 2001).

При анализе ЭКГ использовали классификацию нарушений ритма сердца по В.Н. Орлову [5]. Учитывали ритм сердца (синусовый ритм, синусовая аритмия, постоянная форма фибрилляции-трепетания предсердий), наличие одиночных и парных суправентрикулярных и желудочковых экстрасистол (СЭ, ЖЭ), пробежек суправентрикулярной и желудочковой тахикардии (СВТ, ЖТ), наличие блокад (синоатриальная, предсердная, A-V блокада, блокада ножек пучка Гиса). При проведении суточного мониторирования ЭКГ статистической «нормой» экстрасистол считали до 200 наджелудочковых экстрасистол и до 200 желудочковых экстрасистол в сутки [4].

Статистическая обработка материала выполнена с использованием пакета прикладных программ Statistica for Windows 6.0. Рассчитывались средние значения показателей и стандартная ошибка ($M \pm m$). Для расчета коэффициентов корреляции использовался метод ранговой корреляции Спирмена. Для оценки значимости различия долей применяли критерий χ^2, количественных данных – критерий Манна–Уитни. За достоверные принимались различия при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Частота и характер нарушений сердечного ритма в зависимости от массы тела представлены в табл. 1.

Наличие ОЖ ассоциировалось с большей частотой различных нарушений сердечного ритма, при этом особенно наглядными были различия по частоте постоянной и пароксизмальной форм фибрилляции и трепетания предсердий (ФП, ТП), которые регистрировались у каждого четвертого обследуемого пациента с ОЖ, в то время как при нормальной и избыточной массе тела подобных нарушений ритма не регистрировалось.

Таблица 1

Частота нарушений ритма у мужчин в зависимости от МТ

Нарушения ритма	I группа (*n* = 54)	II группа (*n* = 28)	III группа (*n* = 9)
Синусовая аритмия	12,8% (5/39)	21,7% (5/23)	11,1% (1/9)
ФП-ТП (постоянная форма)	9,3% (5/54)	0%	0%
ФП-ТП (пароксизмальная форма)	11,1% (6/54)	0%	0%
Неполная блокада правой ножки пучка Гиса	8,6% (3/35)	0%	0%
Частые СЭ	8,2% (4/49)	3,6% (1/28)	0%
Парные СЭ	44,9% (22/49)	25% (7/28)	33% (3/9)
Пробежки и/или пароксизмы СВТ	24,5% (12/49)	14,3% (4/28)	22,2% (2/9)
Частые ЖЭ	14,3% (7/49)	10,7% (3/28)	11,1% (1/9)

Обращает внимание преобладание суправентрикулярных нарушений ритма у обследованных больных, особенно при наличии ожирения, в то время как парные ЖЭ, пробежки ЖТ не регистрировались. Крайне редко выявлялись нарушения проводимости, исключительно в виде неполной блокады правой ножки пучка Гиса (3 человека), при этом у всех пациентов на фоне ожирения.

Среди лиц с ОЖ наличие компонентов МС сопровождалось увеличением частоты аритмий (табл. 2).

Существенными различия по нарушениям сердечного ритма были только по фибрилляции-трепетанию предсердий. Вероятность наличия постоянной или пароксизмальной фибрилляции-трепетания предсердий при ОЖ с развитием МС (по критериям ATP-III) была очень высокой – 32,2%, в то время как у обследуемых без МС эти нарушения ритма не выявлялись ($p_{\chi 2} = 0,042$).

Таблица 2

Частота нарушений ритма у мужчин с ОЖ при наличии и отсутствии МС

Нарушение ритма	МС нет (n = 10)	МС есть (n = 28)	$p_{\chi 2}$
Синусовая аритмия	10,0% (1/10)	18,2% (4/22)	>0,05
ФП-ТП (постоянная форма)	0%	14,3% (4/28)	>0,05
ФП-ТП (пароксизмальная форма)	0%	17,9% (5/28)	>0,05
ФП-ТП (постоянная и пароксизмальная форма вместе)	0%	32,2% (9/28)	0,040
Неполная блокада правой ножки пучка Гиса	25% (2/8)	4% (1/25)	>0,05
Частые СЭ	0% (0/10)	10,7% (3/28)	>0,05
Парные СЭ	55,6% (5/9)	46,4% (13/28)	>0,05
Пробежки и/или пароксизмы СВТ	22,2% (2/9)	28,6% (8/28)	>0,05
Частые ЖЭ	11,1% (1/9)	17,9% (5/28)	>0,05

Стенокардия, которая, как показал анализ, ассоциируется с увеличением частоты таких аритмий, как частая СЭ, парная СЭ как при наличии, так и при отсутствии ОЖ. В то же время только у пациентов с ОЖ наблюдается нарастание частоты фибрилляции-трепетания предсердий на фоне стенокардии, что может свидетельствовать о склонности пациентов с ОЖ к данному виду аритмии, возможно, вследствие наличия дополнительных аритмогенных факторов, связанных собственно с ОЖ (табл. 3).

К нарушениям сердечного ритма у мужчин с ОЖ и АГ могут приводить следующие факторы: гипертрофия левого желудочка, атеросклероз коронарных сосудов, метаболические отклонения, а также синдром апноэ-гипопноэ сна, характерный для больных с ОЖ.

Таблица 3

Частота и характер нарушений ритма у мужчин с АГ в зависимости от наличия стенокардии и ОЖ

Вид нарушения ритма	ОЖ		Избыточная и нормальная МТ	
	стенокардия есть	стенокардия нет	стенокардия есть	стенокардия нет
ФП-ТП (постоянная форма)	14,3% (2/14)	6,7% (2/30)	0% (0/6)	0% (0/22)
ФП-ТП (пароксизмальная форма)	27,3% (3/11)	12,0% (3/25)	0% (0/6)	0% (0/22)
Частые СЭ	21,5% (3/14)	4,0% (1/25)	16,7% (1/6)	0% (0/22)
Парные СЭ	57,1% (8/14)	44,0% (11/25)	50,0% (3/6)	22,7% (5/22)
Пробежки СВТ	42,9% (6/14)	20,0% (5/25)	16,7% (1/6)	22,7% (5/22)
Частые ЖЭ	14,3% (2/14)	16,0% (4/25)	0% (0/6)	13,6% (6/22)

ОЖ у пациентов с АГ в нашем исследовании ассоциируется с большей частотой аритмий, в основном суправентрикулярных, в сравнении с таковыми показателями у лиц с нормальной массой тела. При этом нарушения проводимости отличаются низкой распространенностью у обследованных пациентов, проявляясь в виде блокады правой ножки пучка Гиса исключительно у пациентов с ожирением, что, вероятно, является следствием перегрузки правых камер сердца. В качестве факторов, сопряженных с большей частотой аритмии при ОЖ, нами выявлено наличие компонентов МС, а также стенокардии.

Выводы: 1. Наличие ожирения у служащих в полиции мужчин с АГ увеличивает частоту аритмий, чаще суправентрикулярных, протекающих в основном по типу фибрилляции-трепетания предсердий (9,3% – ФП-ТП постоянная форма, 11,1% – ФП-ТП пароксизмальная форма). Не наблюдается свя-

зи ОЖ с желудочковыми нарушениями ритма, редко выявляются нарушения проводимости в виде неполной блокады правой ножки пучка Гиса (8,6%).

2. В качестве фактора, ассоциированного с большей частотой аритмий при ОЖ, нами выявлено наличие МС, при этом наиболее распространенные аритмии (ФП-ТП) выявлены исключительно на фоне МС.

3. Коронарная недостаточность (стенокардия) увеличивает частоту нарушений ритма при АГ как при наличии, так и при отсутствии ОЖ, однако эта закономерность, по нашим данным, не касается таких аритмий, как ФП-ТП, которые выявлялись только у пациентов с ожирением.

Литература

1. *Аметов А.С., Демидова Т.Ю., Целиковская А.Л.* Ожирение и сердечно-сосудистые заболевания // Тер. архив. 2001. № 8. С. 69-72.

2. *Глуховский М.Л.* Метаболический синдром и аритмии сердца: автореф. дис. … докт. мед. наук. Воронеж, 2012. 48 с.

3. *Дедов И.И., Александров А.А., Кухаренко С.С.* Ожирение: кардиальные проблемы // Русский медицинский журнал. 2006. Т. 14, № 13. С. 930-935.

4. *Джанашия П.Х., Шлык С. В., Шевченко Н. М.* Экстрасистолия: клиническое значение, диагностика и лечение // Лечащий врач. 2007. № 3. С. 8-11.

5. *Орлов В.Н.* Руководство по электрокардиографии. М.: МИА, 1997. 528 с.

6. *Потешкина Н.Г. Джанашия П.Х.* Структурно-функциональное ремоделирование миокарда и прогнозирование аритмий у больных артериальной гипертонией // Артериальная гипертензия. 2005. Т. 11, № 4.

7. Body-mass index and mortality in prospective cohort of US adults / *E.E. Calle, M.J. Thun, J.M. Petrelli et al.* // N. Engl. J. Med. 1999. Vol. 341. P. 1097-1110.

8. Body weight and mortality among women / *J.E. Manson, W.C. Willet, M.J. Stampfer et al.* // N. Engl. J. Med. 1995. Vol. 333. P. 677-685.

9. High prevalence of paroxysmal atrial fibrillation and/or atrial flutter in metabolic syndrome / *K. Umetani, Y. Kodama, T. Nakamura et al.* // Circ J. 2007. Vol. 71. P. 252-255.

10. Importance of obesity, race and age to the cardiac structural and functional effects of hypertension / *J.S. Gottdiener, D.J. Reda, B.J. Materson et al.* // J. Am. Coll. Card. 1994. Vol. 24. P. 1492-1498.

11. Metabolic syndrome and risk of development of atrial fibrillation. The Niigata Preventive Medicine Study. / *H. Watanabe, N. Tanabe, T. Watanabe et al.* // Circulation. 2008. Vol. 117. P. 1255-1260.

12. Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: a 26-year follow-up of participants of the Framingham Heart Study / *H.B. Hubert, M. Feinleib, P.T. McNamaraet al.* // Circulation. 1983. Vol. 67. P. 968–977.

13. Obesity index and the risk of atrial fibrillation in an urban Japanese cohort: The Suita Study Epidemiology and Prevention of CV Disease: Physiology, Pharmacology and Lifestyle. Session Title: Epidemiology of Atrial Fibrillation / *Y. Kokubo, W. Shimizu, S. Kamakura et al.* // Circulation. 2011. Vol. 124.

14. *Poirier P., Eckel R.H.* The heart and obesity // The Heart / *V. Fuster, R.W. Alexander, S. King et al.* N.Y.: McGraw-Hill, 2000. P. 2289-2303.

15. The impactof obesity on left ventricular mass and geometry. The Framingham Heart Study / *M.S. Lauer, K.M. Anderson, W.B. Kannel et al.* // JAMA. 1991. Vol. 266. P. 231-236.

ЦЫПЛЕНКОВА НАТАЛИЯ СЕРГЕЕВНА – аспирантка кафедры эндокринологии и терапии, Нижегородская государственная медицинская академия, Россия, Нижний Новгород (a-natal@yandex.ru).

TSYPLENKOVA NATALIYA SERGEEVNA – post-graduate student of Endocrinology and Therapy Chair, Nizhny Novgorod State Medical Academy, Russia, Nizhny Novgorod.

ПАНОВА ЕЛЕНА ИВАНОВНА – доктор медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и терапии, Нижегородская государственная медицинская академия, Россия, Нижний Новгород

PANOVA ELENA IVANOVNA – doctor of medical sciences, assistant professor of Endocrinology and Therapy Chair, Nizhny Novgorod State Medical Academy Russia, Nizhny Novgorod.

КИЧИГИН ВАДИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ. См. с. 560.

ДОМАНОВА ТАТЬЯНА ГЕННАДЬЕВНА – врач-эндокринолог эндокринологического отделения, Республиканская клиническая больница, Россия, Чебоксары.

DOMANOVA TATYIANA GENNADYEVNA – endocrinologist of Endocrinologists Department, Republican Clinical Hospital, Russia, Cheboksary.

УДК 612.438.014.2:615.357
ББК Е60*737.15:Е60*725.381.81

О.А. ШАТСКИХ

РЕАКЦИЯ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУР ТИМУСА НА ВВЕДЕНИЕ МЕЛАТОНИНА ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ОСВЕЩЕНИЯ

Ключевые слова: *мелатонин, тимус, биогенные амины.*

Экспериментальные животные получали ежедневно мелатонин в дозе 0,03 мг/сут. и находились в различных световых условиях (при естественном освещении и искусственном затемнении). Для оценки изменений нейромедиаторного статуса тимуса применяли люминесцентно-гистохимические методы Фалька и Кросса, и метод цитоспектрофлуориметрии. Исследования показали, что мелаксен приводит к перераспределению биогенных аминов в структурах тимуса. Длительное введение мелатонина в условиях искусственного затемнения оказывает иммуностимулирующее действие: увеличивается концентрация катехоламинов при снижении серотонина. Отмечено, что различаются и серотониновые индексы иммунокомпетентных клеток у интактных и подопытных животных.

O.A. SHATSKIKH

THE REACTION AMINE CONTAINING STRUCTURES OF THYMUS ON THE INTRODUCTION OF MELATONIN AT DIFFERENT CONDITIONS OF LIGHTING

Key words: *melatonin, thymus, biogenic amines.*

The experimental animals were given melatonin in dose of 0,03 mg per day under different conditions of lighting (by daylight and artificial darkening). The content of neuromediators in the structures of the thymus was determined using luminescent-histochemical methods of Falk and Cross. The research showed that the introduction of melaxen leads to a redistribution of biogenic amines in the structures of the thymus. The long introduction of melatonin by artificial darkening it has an immune stimulating influence which is confirmed by increase in the concentration of catecholamines and decrease of serotonin. It was noted that differ serotonin indices of immunocompetent cells in the intact and experimental animals.

Биологические ритмы – это уникальное свойство живых организмов, обеспечивающее их выживание и адаптацию в циклически меняющихся условиях внешней среды. Несмотря на связь с внешними стимулами, биологические ритмы имеют эндогенное происхождение, представляя, таким образом, «внутренние часы» организма. Наибольшее значение имеют циркадные ритмы, синхронизацию которых обеспечивает эпифиз, входя в состав фотонейроэндокринной системы [1, 7, 13].

Мелатонин (М) – это нейропептид, синтезирующийся главным образом эпифизом и обладающий уникальным влиянием на организм человека и животных [1, 3, 14]. В организме М выполняет множество различных функций: влияет на гипоталамо-гипофизарные гормоны, участвует в синхронизации циркадных ритмов, оказывает иммуностимулирующее действие, обладает нейротрансмиттерными функциями [1, 2, 14], влияет на все виды обмена [4], является сильным антиоксидантом [3], обладает снотворным эффектом, угнетающе влияет на развитие опухолей [1, 2, 8, 14], обнаружена роль М в замедлении старения организма [5, 8]. Выявлено, что выработка гормона происходит только в ночные часы, поэтому бодрствование в это время может иметь ряд неблагоприятных последствий для живого организма [1].

Известно, что экзогенный М способен увеличивать клеточность тимуса, усиливая пролиферацию клеток [10, 16]. Влияние М в разных условиях освещенности на биоаминное обеспечение тимуса изучено недостаточно.

Цель исследования – изучение реакции биоаминосодержащих структур тимуса на введение М животным, содержащимся в условиях различного освещения.

Материалы и методы исследования. Объектом гистологического исследования служили селезенки 40 половозрелых белых мышей-самцов 2-месячного

возраста. Животные были распределены на 7 групп: I – интактная (n = 6) – животные, которые содержались в обычных условиях вивария (естественное освещение 400 лк, влажность воздуха 90%, кормление животных в период 8^{00}–9^{00}); II и V **–** контрольные (n = 10), животные получали обычный корм и в течение 2 и 4 недель, соответственно, находились в условиях искусственного затемнения; III и IV – экспериментальные (n = 12), животные получали препарат мелаксен (М, применяющийся для регуляции сна как адаптоген при повышенных нагрузках, быстрой смене часовых поясов [8]) ежедневно в дозе 0,03 мг/сут. в течение 2 недель и находились в условиях обычного освещения и искусственного затемнения, соответственно; VI и VII – экспериментальные (n = 12), животные получали препарат мелаксен ежедневно в дозе 0,03 мг/сут. в течение 4 недель и находились в условиях обычного освещения и искусственного затемнения, соответственно. Тимус у животных забирался на 14-е и 28-е сутки эксперимента во второй половине дня (14^{00}–15^{00}).

Криостатные срезы тимуса толщиной 10 мкм обрабатывались следующими методами:

1) метод Фалька–Хилларпа в модификации Е.М. Крохиной применялся для избирательного выявления катехоламинов (КА) и серотонина (С) [6];

2) метод Кросса, Эвена, Роста для выявления структур, содержащих гистамин (Г) [6];

3) метод цитоспектрофлуориметрии для идентификации и количественного измерения содержания КА, С и Г в исследуемых лимфоидных органах. Для этого на люминесцентом микроскопе ЛЮМАМ–4 была установлена дополнительная насадка ФМЭЛ-1А с выходным напряжением 900 В. Для определения С использовался светофильтр № 8 с длиной волны 525 нм, для Г – № 7 с длиной волны 515 нм и для КА – фильтр № 6 с длиной волны 480 нм. Показания снимались с табло усилителя У-5 в условных единицах флюоресценции (у. е.);

4) вычисление серотонинового индекса с целью определения влияния того или иного биогенного амина на общий процесс, являющийся средней величиной от суммы частных соотношений содержания исследуемых аминов.

Результаты исследования и их обсуждение. При изучении нейромедиаторного обеспечения структур тимуса после введения М учитывались исходные уровни биогенных аминов у интактных и контрольных животных. Было выяснено, что введение мелаксена приводит к перераспределению биогенных аминов в клеточных структурах тимуса. Флюориметрические исследования показали, что содержание Г в тимоцитах коркового вещества (ТКВ) снижается у всех мышей на фоне М – у животных III, IV и VI экспериментальных групп в 2-2,5 раза, а у VII экспериментальной группы – в 4,5 раза. Концентрация С и КА у животных на введение мелатонина сохраняется в пределах значений контрольных животных, однако у мышей VII экспериментальной группы обнаружено снижение концентрации С в 2 раза по сравнению с таковой в контрольной группе (рис. 1).

На фоне введения М концентрация Г в макрофагах субкапсулярной зоны (МСЗ) значительно изменилась у животных VII экспериментальной группы, где было выявлено снижение исследуемого биоамина в 2 раза. Содержание С в МСЗ увеличилось у животных IV группы в 2 раза на фоне мелаксена, концентрация КА также повысилась на фоне гормона у животных III, IV и VI экспериментальных групп (рис. 2).

В макрофагах кортико-медуллярной зоны (МКМЗ) увеличение концентрации Г в 2 раза выявлено у животных III и IV экспериментальных групп, однако у животных VII группы содержание исследуемого биоамина снижается в 1,5 раза по сравнению с контрольной группой мышей. М приводит к увеличению содержания С и КА в МКМЗ зоны в 2-3 раза у мышей IV и VI экспериментальных групп (рис. 3).

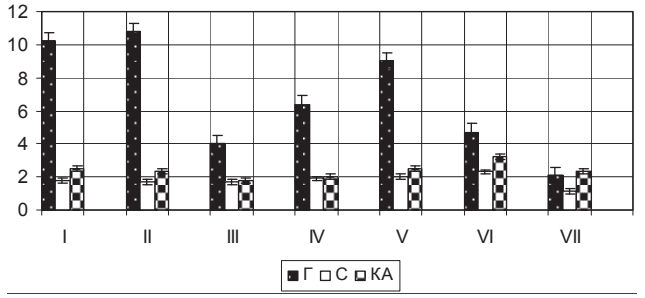


Рис. 1. Динамика интенсивности свечения Г, С и КА в ТКВ после введения М.
По оси абсцисс – группы животных, по оси ординат – концентрация Г, С, КА в у.е.
I – стандартная ошибка

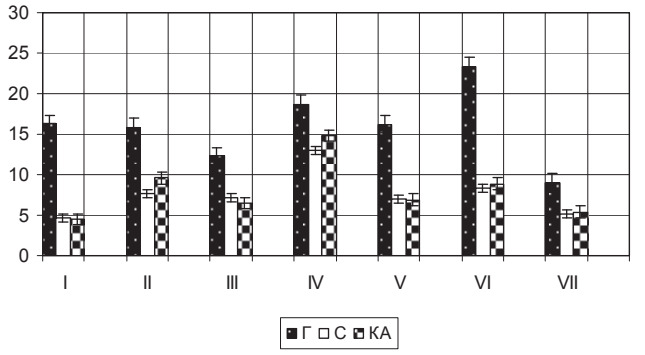


Рис. 2. Динамика интенсивности свечения Г, С и КА в МСЗ после введения М.
По оси абсцисс – группы животных, по оси ординат – концентрация Г, С, КА в у.е.
I – стандартная ошибка

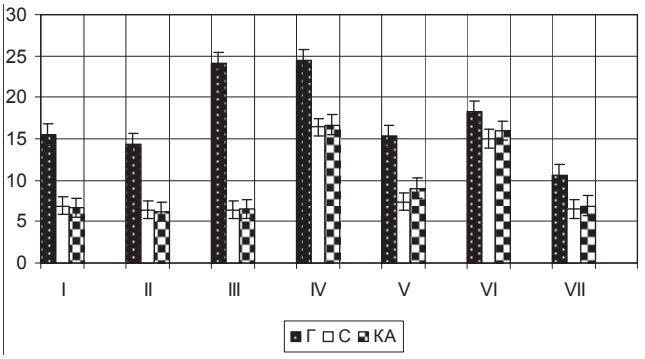


Рис. 3. Динамика интенсивности свечения Г, С и КА в МКМЗ после введения М.
По оси абсцисс – группы животных, по оси ординат – концентрация Г, С, КА в у.е.
I – стандартная ошибка

Содержание Г в тимоцитах мозгового вещества (ТМВ) на фоне введения мелаксена снижается в 2-3 раза у животных III, IV и VII экспериментальных групп и увеличивается в 2 раза у животных IV экспериментальной группы. Концентрация С и КА в исследуемых структурах тимуса животных IV и VI экспериментальных групп увеличивается в 4-5 раз, в то время как у животных VII экспериментальной группы было обнаружено изолированное увеличение концентрации КА в 2,5 раза по сравнению с таковой в контрольной группе мышей (рис. 4).

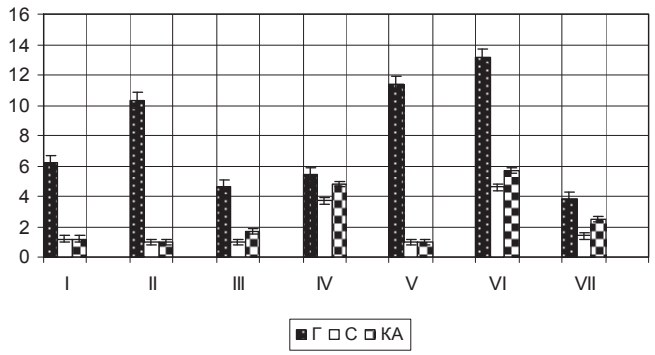


Рис. 4. Динамика интенсивности свечения Г, С и КА в ТМВ после введения М.
По оси абсцисс – группы животных, по оси ординат – концентрация Г, С, КА в у.е.
I – стандартная ошибка

В научной литературе имеются данные о различном влиянии биоаминов на деятельность иммунных клеток. Избыток С свидетельствует об иммуносупрессии [12], а КА усиливают процессы пролиферации и дифференцировки клеток [15]. Таким образом, из полученных нами данных видно, что длительное введение М в условиях искусственного затемнения приводит к перераспределению биогенных аминов: увеличивается обеспеченность иммунокомпетентных клеток КА, в то время как концентрация иммуносупрессорного С снижается.

Был определен серотониновый индекс ($J_{C/KA}$) для понятия особенностей распределения биогенных аминов в различных структурах тимуса. Серотониновый индекс больше 1 свидетельствует о преобладании в клетке С, а меньше 1 – о преобладании в клетке КА. Результаты исследований показали, что после введения М серотониновый индекс во всех исследуемых структурах тимуса становится менее 1, что указывает на преобладание КА над депрессорным моноамином С. Повышение обеспеченности КА можно рассматривать как активацию пролиферации клеток, так как известно, что КА стимулируют иммунные процессы [11].

Изменение биогенных аминов приводит к достоверному снижению соотношения (С+Г)/КА на фоне введения М во всех исследуемых структурах тимуса всех экспериментальных групп животных, причем наиболее выраженная реакция наблюдается у животных, получавших мелаксен при условии искусственного затемнения. Известно, что снижение соотношения (С+Г)/КА в клетках иммунной системы приводит к стимуляции их физиологической активности [9].

Выводы. 1. Введение М в организм мышей в условиях обычного освещения и искусственного затемнения приводит к изменению функциональной морфологии нейромедиаторных систем структур тимуса, увеличивая обеспеченность иммунокомпетентных клеток КА при снижении концентрации иммуносупрессорного С.

2. Наиболее выраженное иммуностимулирующее действие мелаксена выявлено у мышей, длительно получавших препарат в условиях постоянной темноты.

Литература

1. *Арушанян Э.Б., Бейер Э.В* Гормон мозговой железы эпифиза мелатонин – универсальный естественный адаптоген // Успехи физиологических наук. 2012. Т. 43, № 3. С. 82-100.

2. *Бакшеев В.И., Коломоец Н.М.* Мелатонин в системе нейрогуморальной регуляции у человека. Ч. 1 // Клиническая медицина. 2011. Т. 89, № 1. С. 4-10.

3. *Беспятых А.Ю., Бурлакова О.В., Голиченков В.А.* Мелатонин как антиоксидант: основные функции и свойства // Успехи современной биологии. 2010. Т. 130, № 5. С. 487-496.

4. *Джериева И.С., Рапопорт С.И., Волкова Н.И.* Мелатонин как регулятор метаболических процессов // Клиническая медицина. 2012. Т. 90, № 10. С. 27-30.

5. *Князькин И.В.* Экстрапинеальный мелатонин в процессах ускоренного и преждевременного старения у крыс // Успехи геронтологии. 2008. Т. 21, № 1. С. 80-82.

6. *Лузикова Е.М.* Морфо-физиологическая реакция аминосодержащих структур тимуса на введение АКТГ$_{1-24}$: автореф. дис. … канд. биол. наук. Чебоксары, 2005. 25 с.

7. Мелатонин, введенный крысе, эффективно синхронизирует ритм синтеза белка в первичных культурах гепатоцитов, выделенных из этой крысы / *В.Я. Бродский, С.И. Рапопорт, Т.К. Дубовая и др.* // Онтогенез. 2010. Т. 41, № 2. С. 101-106.

8. *Мендель В.Э., Мендель О.И*. Мелатонин: роль в организме и терапевтические возможности. Опыт применения препарата Мелаксен в российской медицинской практике // Человек и лекарство. 2010. Т. 18, № 6. С. 336-342.

9. Морфологические изменения тимуса после применения Полиоксидония / *Г.Ю. Стручко, Л.М. Меркулова, О.Ю. Кострова и др.* // Фундаментальные исследования. 2012. № 5-1. С. 197-202.

10. *Перцов С.С.* Роль супрахиазматического ядра гипоталамуса в реализации эффектов мелатонина на тимус, надпочечники и селезенку у крыс // Бюл. эксп. биол. мед. 2006. Т. 141, № 4. С. 364-367.

11. *Сарилова И.Л.* Морфофункциональная характеристика структур тимуса при экспериментальной тестэктомии: автореф. дис. .... канд. мед. наук. Саранск, 2009. 24 с.

12. *Cloez-Tayarani I., Petit-Bertron A.F., Venters H.D., Cavaillon J.M.* Differential effect of serotonin on cytokine production in lipopolysaccharide-stimulated human peripheral blood mononuclear cells: involvement of 5-hydroxytryptamine2A receptors // Int. Immunol. 2003. Vol. 15. P. 233-240.

13. *Hardelan R., Madrid J.A., Tan D.-X., Reiter R.J.* Melatonin, the circadian multioscillator system and health: the need for detailed analyses of peripheral melatonin signaling // Journal of Pineal Research. 2012. Vol. 52, № 2. P. 139-166.

14. New perspectives in melatonin uses / *A. Carpentieri, G. Díaz de Barboza, V. Areco et al.* // Pharmacological research. 2012. Vol. 65, № 4. P. 437-444.

15. *Patay B., Kurz B., Mentlein R.* Effect of transmitters and cotransmitters of the sympathetic nervous system on interleukin-6 synthesis in thimic epithelial cells // Neuroimmunomodulation. 1999. Vol. 6, № 1-2. P. 45-50.

16. *Srinivasan V., Maestroni G.J.M., Cardinali D.P., Esquifino A.I.* Melatonin, immune function and aging // Immunity & Ageing. 2005. Vol. 29. P. 2-17.

ШАТСКИХ ОКСАНА АЛЕКСЕЕВНА – аспирант кафедры медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dum2dum@mail.ru).

SHATSKIKH OKSANA ALEKSEEVNA – post-graduate student of Medical Biology Chair with the Microbiology and Virology Course, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 612.438.06:612.018.2:577.175.32
ББК Е 60:737

Л.Р. ЯЛАЛЕТДИНОВА, С.А. ЯСТРЕБОВА

CD4-ПОЗИТИВНЫЕ КЛЕТКИ ТИМУСА ПРИ ВВЕДЕНИИ ХОРИОНИЧЕСКОГО ГОНАДОТРОПИНА*

Ключевые слова: *тимус, хорионический гонадотропин, CD4-позитивные клетки.*

Введение мышам хорионического гонадотропина приводит к уменьшению количества CD4-позитивных крупных клеток в корковом веществе долек тимуса; к увеличению количества CD4-позитивных клеток в мозговом веществе долек и кортикомедуллярной зоне.

L.R. YALALETDINOVA, S.A. YASTREBOVA

CD4-POSITIVE THYMUS CELLS AT THE INTRODUCTION OF THYMUS CHORIONIC GONADOTROPIN

Key words: *thymus, human chorionic gonadotropin, CD4-positive cells.*

Introduction of chorionic gonadotropin results in fewer CD4-positive large cells in the cortex of the thymus lobes of mice and in increase of the number of CD4-positive cells in medullar lobes and corticomedullar zone.

Тимус является центральным органом иммуногенеза, обеспечивая дифференцировку лимфоцитов [3]. В настоящее время известно, что CD4-позитивные клетки – маркеры Т-хелперов-индукторов. Отмечено, что ко-рецептор CD4

* Работа выполнена на кафедре медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии. Госбюджетная тема 0120.085.1887 от 2008 г. «Гистохимия биогенных аминов в морфофункциональном состоянии органов и тканей в норме и эксперименте».

сохраняется на тимоцитах, распознающих пептиды в составе молекул МНС (главный комплекс гистосовместимости) II класса. Такое распределение способствует сродству гистохимических маркеров CD4 и МНС II класса. Под влиянием прямого контакта с тимусными эпителиальными клетками макрофаги взаимодействуют с гуморальными факторами, вырабатываемыми клетками микроокружения тимуса, далее в кортикомедуллярной зоне дольки тимуса происходят окончательная антигеннезависимая дифференцировка и становление аутотолерантности Т-лимфоцитов [5].

Хорионический гонадотропин (ХГ) снижает иммунный ответ организма и способствует сохранению беременности. При трофобластической болезни на фоне повышенных концентраций ХГ иммунный противоопухолевый ответ снижается, что способствует метастазированию опухоли [1]. Выявлены морфологические изменения в тимусе при введении асцитной опухоли ячников [3].

Много внимания уделяется клеточно-опосредуемым иммунным механизмам как возможным этиологическим факторам самопроизвольного выкидыша; в частности, речь идет о клетках Т-хелперах (ТХ1, ТХ2) и секретируемых ими цитокинах. В организме эти клетки активируются по очереди. Реакция, обусловленная клетками ТХ2, способствует сохранению нормальной беременности, в то время как реакция, обусловленная клетками ТХ1, является антагонистической по отношению к беременности и может вызывать аборт [4].

Несмотря на то, что в настоящее время механизм развития самопроизвольного выкидыша окончательно не выяснен, полагают, что важную роль в них могут играть естественные Т-киллеры, активируемые лимфокинами, а также активированные децидуальные макрофаги [4].

Д.С. Гордон и соавт. [2] при беременности обнаружили иммуносупрессию и появление нейроэндокринных клеток в тимусе, проследили динамику их морфофункционального состояния в течение I, II, III триместров беременности. В работе M. Fukayama [8] описаны иммуноцитохимические изменения в тимусе при введении хорионического гонадотропина.

Существует взаимосвязь между гормональными и иммунными факторами. Под влиянием прогестерона активируются лимфоциты и начинают вырабатывать прогестероиндуцированный блокирующий фактор (ПИБФ), который способствует сохранению беременности. Эстрогены способствуют синтезу и накоплению биогенных аминов в тимусе. Под влиянием эстрогенов усиливается выявляемость нейроэндокринных клеток кортикомедуллярной зоны дольки тимуса.

Хорионический гонадотропин образуется в клетках синцитиотрофобласта и цитотрофобласта плаценты. ХГ присутствует в крови беременных с начала дробления оплодотворенной яйцеклетки вне зависимости от локализации беременности. Первоначальная функция ХГ на ранних сроках – стимуляция продукции и секреции эстрогенов и прогестерона в желтом теле, ХГ также стимулирует выработку ряда гормонов в плаценте. ХГ проходит через плаценту и может обнаруживаться в тканях плода, где он предположительно играет роль в дифференциации генитального тракта. На поздних сроках беременности этот гормон играет также роль своеобразного тормоза, снижая сократительную активность матки. Кроме того, для благополучного течения беременности необходима защита эмбриона от иммунной системы материнского организма [4]. Предполагается, что основными иммунодепрессантами являются ХГ и белки трофобласта – трофобластический (3-гликопротеин), плацентарный лактоген, плацентарный белок-14 и белок беременности PAPP-A.

Сведений о влиянии хорионического гонадотропина на иммунологические процессы недостаточно. В задачу настоящего исследования входило изучение популяции CD4-позитивных клеток тимуса мышей при введении ХГ.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служил тимус 120 белых беспородных мышей массой 30 г. Животные были разделены на три группы: I – интактная группа (*n* = 20), II – контрольная (*n* = 20), которым внутримышечно вводили 0,02 мл физраствора, III – опытная с внутримышечным введением 0,02 мл раствора ХГ – IIIА подгруппа (*n* = 20) с введением ХГ в течение 1 недели (2 раза через каждые 3 дня), III Б подгруппа (*n* = 20) с введением ХГ в течение 2 недель (4 раза через каждые 3 дня), III В подгруппа (*n* = 20) с введением ХГ в течение 3 недель (6 раз через каждые 3 дня), III Г подгруппа (*n* = 20) с введением ХГ в течение 4 недель (8 раз через каждые 3 дня). Введение препаратов проводилось с соблюдением правил асептики и антисептики. Все процедуры по уходу за мышами осуществляли согласно нормам и правилам обращения с лабораторными животными. Тимус извлекали под наркозом после завершения экспериментального воздействия.

Срезы яичников обрабатывались по стандартному протоколу [10]: сначала подавлялась пероксидазная активность путем инкубации срезов в 3%-ном растворе H_2O_2 в течение 30 мин с последующей промывкой 0,1М фосфатным буфером. Для блока неспецифического связывания срезы инкубировались в течение 1 ч в 10%-ной козьей сыворотке, после чего к ним были добавлены первые антитела к белкам CD4 на 18 ч при температуре 4°С. В качестве вторых антител были использованы антивидовые антииммуноглобулиновые биотилированные антитела. С целью выявления биотиновой метки срезы обрабатывались авидин-пероксидазным комплексом. Метод основан на высоком сродстве авидина к биотину. Пероксидазную активность проявляли в инкубационной среде с диаминобензидином. В результате ферментативной реакции субстрат превращался в нерастворимый продукт коричневого цвета, совпадающий по локализации с местонахождением белка. Препараты анализировались под световым микроскопом Микмед. Произведен подсчет CD4-позитивных клеток в 10 полях зрения. Статистическая обработка данных производилась с применением критерия Стъюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Тимус интакных животных имеет дольчатое строение. В дольке различаются темное корковое вещество и более светлое – мозговое. Среди эпителиальных клеток находятся лимфоциты (тимоциты). Популяция CD4-позитивных клеток представлена в дольках тимуса клетками средних размеров 7,25±0,25 мкм округлой формы, в цитоплазме которых хорошо просматриваются коричневые гранулы. В тимусе интактных и контрольных животных исследуемые клетки определяются в корковом и мозговом веществах долек, а также в кортико-медуллярной зоне. Количественный анализ CD4-позитивных клеток (табл.) свидетельствует о преобладании их в корковом веществе долек (от 2,2 до 4,6 в среднем в поле зрения). В мозговом веществе CD4-позитивных клеток значительно меньше (от 1,2 до 2,4 клеток в одном поле зрения). В кортикомедуллярной зоне долек они единичны (0,2±0,1 клеток в одном поле зрения). Итак, у интактных и контрольных животных CD4-позитивные клетки (с Т-хелперной направленностью) выявляются во всех зонах долек тимуса (рис. 1).

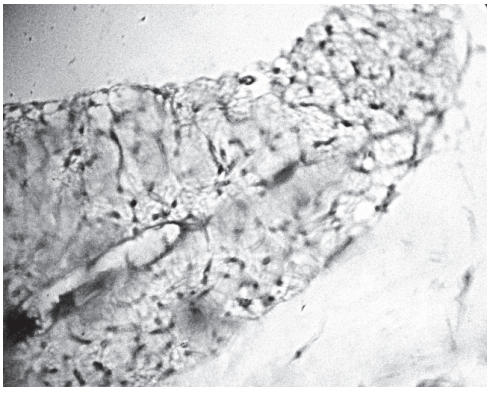


Рис. 1. Тимус мыши. Интактная группа. Иммуногистохимическая реакция с антителами CD4. МИКМЕД Об. 40, ок. 15

Ранее у мышей-самок мы наблюдали формирование дольчатой структуры тимуса с пальцевидными выростами при введении ХГ в течение 4 недель [6].

Количество CD4-позитивных клеток после введения ХГ в корковом веществе долек тимуса увеличивается по сравнению с таковым у интактных животных. Если рассматривать динамику данного процесса, уже через 1 неделю введения ХГ количество CD4-позитивных Т-клеток начинает увеличиваться, достигая почти максимума к четырехнедельному сроку эксперимента (5,4±0,3, $p < 0,05$). Количество этих же клеток в мозговом веществе долек тимуса и кортикомедуллярной зоне увеличивается и зависит от длительности введения гормона (таблица).

Количественное распределение CD4-позитивных структур тимуса мышей в норме и при введении ХГ (*M*±*m*)

Микроструктуры	Группы животных					
			III группа (с введением ХГ)			
	I группа (интактные)	II группа (контрольные)	III А (с введением ХГ в течение 1 недели)	III Б (с введением ХГ в течение 2 недель)	III В (с введением ХГ в течение 3 недель)	III Г (с введением ХГ в течение 4 недель)
CD4-позитивные клетки в корковом веществе долек	2,2±0,01	4,6±0,02	5,2±0,03	0	5,6±0,5	5,4±0,3*
CD4-позитивные клетки в мозговом веществе долек	1,2±0,01	2,4±0,05	4,6±0,1	2,8±0,6	2,8±0,1	9,6±0,6*
CD4-позитивные клетки в кортикомедулярной зоне долек тимуса	0,2±0,009	0	0,6±0,004	0	1,8±0,008	3,0±0,2*
Общее количество CD4-позитивных клеток долек тимуса	3,6±0,9	7,0±0,8	10,4±0,9	2,8±0,7	10,2±0,2	18,0±0,8*

Примечание. *$p < 0,05$ по сравнению с I группой.

Исследования показали, что введение хорионического гонадотропина вызывает гипотрофию дольки тимуса, чего не отмечалось в контрольной группе. CD4-позитивные клетки вилочковой железы располагались в корковом, мозговом веществах и кортико-медуллярной зоне доек тимуса. В корковом и мозговом веществах долек железы CD4-позитивные клетки располагались диффузно (рис. 2).

Таким образом, CD4 белки экспрессируются клетками центрального органа иммунной системы.

После введения ХГ в течение 4 недель в корковом веществе долек тимуса количество CD4-позитивных клеток увеличивается в 2,5 раза, в кортико-медуллярной зоне – в 15 раз по сравнению с данными I группы интактных животных (таблица). В мозговом веществе количество CD4-пози-

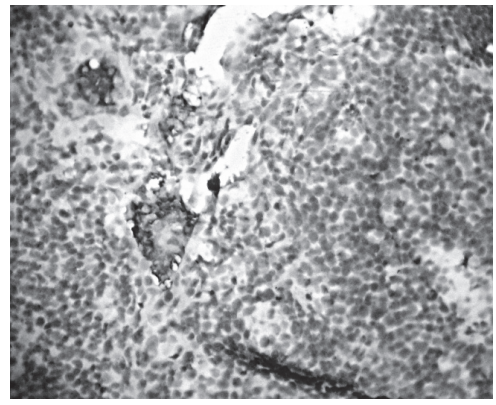


Рис. 2. Тимус мыши.
Внутримышечное введение
хорионического гонадотропина в течение 4 недель.
Иммуногистохимическая реакция
с антителами CD4. Об. 40, ок. 15

тивных лимфоцитов увеличивается в 8 раз (1,2±0,01 CD4-позитивных клеток у животных I группы и 9,6±0,6 CD4-позитивных лимфицитов у мышей после введения ХГ в течение 4 недель). Суммарное количество CD4-позитивных клеток долек тимуса увеличивается в 5 раз (с 3,6±0,9 у интактных животных до 18,0±0,8, $p < 0,05$ у животных III Г подгруппы).

Эксперимент с введением ХГ доказывает наличие взаимосвязи между нейроэндокринной и иммунной системами. Дендритные макрофаги, имеющие свойства антигенпредставляющих клеток, при введении ХГ активизируются. Это доказывает необходимость патогенетически обоснованного применения ХГ у пациенток при невынашивании беременности [4]. Вероятно, зрелые тимоциты, выделяемые из вилочковой железы под действием экзогенно введенного ХГ, способствуют подавлению иммунной агрессии организма.

Нашими исследованиями обнаружено, что под влиянием ХГ происходят процессы селекции лифоцитов в центральном органе иммунитета – тимусе. В корковом веществе долек тимуса увеличивается количество Т-хелперов-индукторов. В нашем эксперименте с введением ХГ количество CD4-позитивных клеток увеличивается в 2,5 раза по сравнению с таковым у животных интактной группы.

Обращает на себя внимание то, что общее количество CD4-позитивных клеток в дольках тимуса при введении ХГ становится больше в 5 раз (18,0±0,8, $p < 0,05$ при введении ХГ в течение 4 недель), в то время как у интактных животных количество субпопуляции CD4-позитивных клеток совершенно одинаковое (3,6±0,9). Возможно, это обстоятельство связано с иммуномодулирующим воздействим ХГ на субпопуляцию CD4-позитивных клеток.

Через 2 недели эксперимента с введением ХГ мы не обнаружили в тимусе CD4-позитивных клеток в корковом веществе и кортикомедуллярной зоне долек тимуса.

В тимусе под воздействием ХГ через 3-4 недели наблюдается положительная селекция CD4-позитивных клеток, а значит, MHCII-специфических клеток тоже. Под влиянием прямого контакта с тимусными эпителиальными клетками, дендритными макрофагами, гуморальными факторами в корковом и мозговом веществах, кортикомедуллярной зоне долек тимуса происходят окончательная антигеннезависимая дифференцировка и становление субпопуляции Т-хелперов. Данные процессы стимулируются ХГ.

Известно, что по мере перемещения в глубокие слои тимусной дольки тимоциты подвергаются селекции [7, 9]. Назначение процесса селекции состоит в выбраковке тимоцитов, несущих аутоспецифические рецепторы. В результате наших исследований выявлено, что в I группе животных по мере продвижения вглубь дольки тимуса только небольшая часть тимоцитов подвергается селекции. Если количество CD4-позитивных тимоцитов в корковом веществе у мышей I группы составляет 2,2±0,01 и в мозговом веществе 1,2±0,01, то при воздействии ХГ количество CD4-позитивных тимоцитов увеличивается в корковом веществе в 2,5 раза и в мозговом веществе – в 9 раз. Возможно, при введении ХГ происходит положительная селекция CD4-тимоцитов, которые являются MHC-II специфическими клетками. Это позволяет организму в период введения ХГ не распознавать молекулы главного комплекса гистосовместимости.

Вместе с тем при введении ХГ увеличивается количество CD4-позитивных макрофагов в кортикомедуллярной зоне долек тимуса в 5 раз. Возможно, происходят процессы отрицательной селекции тимоцитов с помощью дендритных макрофагов. Можно предположить, что в данном виде се-

лекции индуцирован апоптоз аутоспецифичных клонов лимфоцитов. Данный процесс позволяет выбраковывать в тимусе лимфоциты, несущие аутоспецифические рецепторы.

Выводы. 1. С помощью иммуногистохимической реакции в тимусе обнаружены CD4-позитивные клетки в корковом и мозговом веществах, кортико-медуллярной зоне долек тимуса. Наибольшее количество CD4-позитивных клеток выявлено в корковом веществе долек тимуса.

2. Введение хорионического гонадотропина способствует положительной селекции CD4-позитивных клеток в корковом и мозговом веществах, кортико-медуллярной зоне долек тимуса.

3. Хорионический гонадотропин оказывает иммуномодулирующее влияние на CD4-позитивную популяцию лимфоцитов тимуса с Т-хелперной дифференцировкой.

Литература

1. *Кузнецов В.В., Мещерякова Л.А., Козаченко В.П.* Трофобластическая болезнь [Электронный ресурс]. URL: http:/www.nk81.ru/node/36.

2. *Олангин О.И., Гордон Д.С.* Иммуноцитохимический анализ паренхимы тимуса крыс в разные сроки беременности // Int. J. on Immunoreabilitation. 1997. № 7. P. 167.

3. *Сергеева В.Е., Гордон Д.С.* Люминесцентно-гистохимическая характеристика ранней реакции моноаминсодержащих структур тимуса на антигенные воздействия / *В.Е. Сергеева, Д.С. Гордон.* Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. 352 с.

4. *Сухих Г.Т., Ванько Л.В.* Иммунология беременности. М.: Изд-во РАМН, 2003.

5. *Хаитов Р.М., Игнатьева Г.А., Сидорович И.Г.* Иммунология. М.: Медицина, 2000. 430 с.

6. *Ястребова С.А., Сергеева В.Е., Аюпова Л.Р.* Морфометрический анализ структур тимуса и яичников под воздействием гонадотропина // Морфология в теории и практике: сб. материалов и тезисов (к 90-летию со дня рождения Д.С. Гордон). Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. С. 296-297.

7. *Bosselut R.* CD4/CD8-lineage differentiation in the thymus: from nuclear effectors to membrane signals // Nature Reviews Immunology. 2004. Vol. 4, July. P. 529-540.

8. Human chorionic gonadotropin in the thymus. An immunocytochemical study on discordant expression of subunits / *M. Fukayama, Y. Hayash, Y. Shiozawa et al.* // Am. J. Pathol. 1990. Vol. 136(1), Jan. P. 123-129.

9. *Marodon G., Rocha B.* Generation of mature T cell populations in the thymus: CD4 or CD8 down-regulation occurs at different stages of thymocyte differentiation // Eur. J. Immunol. 1994. Vol. 24(1), Jan. P. 196-204.

10. *Sternberger L.A., Petrali J.P.* The unlabeled antibody enzyme method. Attempted use of peroxidase-conjugated antigen as the third layer in the technique // J. Histochem. Cytochem. 1977. Vol. 25(9), Sep. P. 1036-1042.

ЯЛАЛЕТДИНОВА ЛЕЙСАНА РАМИЛОВНА – врач акушер-гинеколог, Городская больница № 5, Россия, Чебоксары (barbaris09@bk.ru).

YALALETDINOVA LEHYSANA RAMILOVNA – obstetrician-gynecologist, City Hospital № 5, Russia, Cheboksary.

ЯСТРЕБОВА СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА – кандидат биологических наук, доцент кафедры медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (rejsen@chuvashi.ru).

YASTREBOVA SVETLANA ALEXANDROVNA – candidate of biology sciences, associative professor of Medical Biology Chair with the Microbiology and Virology rate, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

УДК 616.411:612.412:615.2
ББК Е 60:737

С.А. ЯСТРЕБОВА, Т.Л. СМИРНОВА, Л.Р. ЯЛАЛЕТДИНОВА

РЕАКЦИЯ CD4-ПОЗИТИВНЫХ МАКРОФАГОВ СЕЛЕЗЕНКИ НА ВВЕДЕНИЕ Т-АКТИВИНА*

Ключевые слова: *селезенка, красная и белая пульпа, CD4-позитивные макрофаги, моноклональные антитела, Т-активин.*

Выявлены CD4-позитивные макрофаги в красной и белой пульпе, маргинальном синусе, трабекулах селезенки интактных мышей и при введении иммуномодулятора Т-активина. В ходе цитоморфологического исследования CD4-позитивные макрофаги селезенки разделены на 5 групп.

S.A. YASTREBOVA, T.L. SMIRNOVA, L.R. YALALETDINOVA

REACTION OF CD4 POSITIVE SPLEEN MACROPHAGES TO THE INTRODUCTION OF T-ACTIVIN

Key words: *spleen, red and white pulp, CD4 positive macrophages, monoclonal antibodies, T-activin.*

CD4 positive macrophages in the red and white pulp, marginal sinus, trabeculae of the spleen of intact mice with the introduction of immunomodulator T-activin are identified. During the cytomorphological study of CD4 positive spleen macrophages are divided into 5 groups.

Изучению состава популяции лимфоцитов при воздействии иммуномодуляторов уделяется большое внимание. Зрелые наивные медуллярные Т-лимфоциты, экспрессирующие CD4, распознают молекулу HLA II класса [2]. CD4-55kDA представляет собой трансмембранный гликопротеин, экспрессируемый Т-хелперами и определяемый на 55-65% зрелых Т-клетках периферической крови и тимоцитах мозгового вещества тимуса. CD4-маркер также экспрессирует моноциты-макрофаги, клетки Лангерганса и другие дендритные клетки [2]. Характерной иммунофенотипической особенностью наивных Т-хелперов является мембранная экспрессия молекулы CD45RA. В белой пульпе селезенки в периартериальных лимфоидных муфтах CD4-позитивные Т-клетки преобладают над CD8-позитивными, в то время как в красной пульпе другое соотношение популяций клеток [2].

Цитоморфометрическое определение CD4-позитивных клеток с помощью моноклональных антител широко применяется в клинической иммунологии для определения содержания Т-хелперов при иммунодифицитных состояниях, в особенности при ВИЧ-инфекции, лимфопролиферативных заболеваниях.

В литературе широко описаны гуморальные изменения при введении иммуномодуляторов [1, 3, 6]. Морфологическим реакциям в иммунных органах уделяется недостаточно внимания.

Цель исследования – изучение популяций CD4-позитивных клеток селезенки у интактных животных, под влиянием иммуномодулятора Т-активина.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служила селезенка 48 мышей-самцов массой 22-24 г. Животные были разделены на три группы: I группа – интактные животные (n = 16); II группа – контрольные животные с введением физраствора 0,2 мг на животное (n = 16); III группа – экспериментальные животные с введением Т-активина по 0,2 мг на животное (n = 16). Селезенка забиралась под глубоким наркозом. В работе использован иммуногистохимический стрептавидин-биотин-пероксидазный метод [4, 7]. Селезенки мышей после фиксации в 10%-ном растворе нейтрального формалина материал заливали парафином. Парафиновые срезы толщиной 5 мкм готовились на мик-

* Работа выполнена на кафедре медицинской биологии с курсом микробиологии и вирусологии. Госбюджетная тема 0120.085.1887 от 2008 г. «Гистохимия биогенных аминов в морфофункциональном состоянии органов и тканей в норме и эксперименте».

ротоме МПС-2, и после депарафинирования и регидратации в этаноле нисходящей концентрации срезы селезенки погружали в восстанавливающий цитратный буфер (pH 6,0). Затем проводили высокотемпературную обработку прогреванием на водяной бане при 90-95°С в течение 30 мин с целью демаскировки искомых антигенов в тканях. После ингибирования эндогенной пероксидазы 3%-ным раствором перикиси водорода на метаноле проводили иммуногистохимическую реакцию методом трехэтапного непрямого иммуноферментного анализа с использованием первичных моноклональных антител (МКАТ) к антигенным маркерам CD4 в разведении 1:100 согласно рекомендации фирмы-изготовителя (Dako, Дания). Визуализацию первичных МКАТ, связавшихся с антигенами, проводили стандартным биотин-стрептавидин-пероксидазным методом с использованием набора LSAB-2 (Labeled Streptavidin Biotin System Peroxidase). На заключительном этапе срезы докрашивались толуидиновым синим по Нисслю. Морфометрическое исследование участков селезенки проведено с применением компьютерного анализа микроскопических изображений. Аппаратное обеспечение состояло из микроскопа, цифровой камеры Canon, ПК на базе Intel Pentium 4, имеющего программное обеспечение для анализа изображений Sigma Scan Pro 5.0 (Systat). Границы каждого поля зрения препаратов селезенки записывали в формате JPEG, для каждого случая вычисляли количество CD4-позитивных клеток.

Статистическая обработка полученных цифровых данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft office (Word и Excel). Оценка статистической значимости проводилась по *U*-критерию Вилкоксона–Манна–Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. Лимфатическая ткань селезенки представлена белой пульпой и лимфоидными элементами красной пульпы. В ходе цитоморфологических исследований нами было выявлено 5 различных популяций CD4-позитивных клеток селезенки: I тип – крупные, яркие, без видимых гранул; II тип – крупные, бледные, с гранулами и без отростков; III тип – крупные, бледные, с гранулами и отростками; IV тип – мелкие, яркие, без видимых гранул; V тип – мелкие, с бледными гранулами.

В селезенке интактных животных общее количество CD4-позитивных клеток преобладает в красной пульпе и совсем не выявляется в периартериальной и реактивной зонах белой пульпы. Чаще выявляются в тканях селезенки CD4-позитивные клетки V типа (36,6±1,8 на поле зрения).

При введении Т-активина также CD4-позитивные клетки преобладают в красной пульпе (180,8±10,6), в то время как в белой пульпе их всего 43,3±2,3. Максимальное количество CD4-позитивных клеток выявлено на 3-и сутки после введения Т-активина (84,8±3,8), а минимальное количество – на 1-е сутки эксперимента (38,5±2,9). Среди пяти выделенных нами типов CD4-позитивных клеток в тканях селезенки преобладают клетки V типа (180±6,8), на втором месте клетки I типа (33,9±4,1), на третьем – клетки IV типа (29,7±2,1), на четвертом – клетки III типа (13,9±1,2), на пятом – популяция клеток II типа (4,7±1,4). Распределение CD4-позитивных клеток в структурах селезенки показано в таблице.

Количество CD4-позитивных клеток в разных зонах ткани селезенки при введении физиологического раствора и Т-активина, *M±m*

Группы животных	Микроструктуры селезенки			
	белая пульпа	маргинальный синус	красная пульпа	трабекула
Т-активин 1-е сут.	3,2±1,1	1,2±0,9	31,9±2,8	2,2±1,2*
Т-активин 3-и сут.	28,4±2,9*	6,4±1,6*	46,6±2,1*	3,4±1,6*
Т-активин 7-е сут.	5,7±1,5*	8,5±1,4*	32,7±1,9*	0
Т-активин 14-е сут.	2,2±1,3	8,6±1,89*	27,6±1,8	1,8±1,1
Контроль	3,8±1,6	7±1,68	42±3,5	0

Примечание. * – достоверность ($p < 0,05$) по сравнению с контрольными данными.

По литературным данным в белой пульпе селезенки преобладают CD4-позитивные Т-клетки над CD8-позитивными Т-клетками, а в

красной пульпе отмечается обратное соотношение между этими популяциями [3, 6]. Иммуногистохимические исследования микроструктур селезенки показали аналогичные результаты. В таблице представлена динамика содержания CD4-позитивных Т-клеток селезенки на введение Т-активина.

Методами иммуногистохимии нам удалось исследовать CD4-позитивные Т-клетки селезенки в течение 14 суток. Гистологическая картина показывает, что общее количество CD4-позитивных клеток преобладает в красной пульпе, клетки совсем не выявляются в периартериальной и реактивной зонах белой пульпы.

В ходе цитологического исследования были выявлены 5 морфотипов CD4-позитивных клеток селезенки, играющих определенную роль в иммунологических реакциях. В красной пульпе преобладают мелкие клетки V типа.

При введении Т-активина нарастает количество CD4-позитивных клеток. На 2-е сутки наиболее реактивными оказались клетки белой и красной пульпы, маргинального синуса и трабекулы. Содержание CD4-позитивных клеток в белой пульпе достигло 28,4±2,9 в поле зрения ($p < 0,05$) в сравнении с контрольными данными 3,8±1,6 в поле зрения. Морфологическое влияние Т-активина в отношении клеток красной пульпы возрастало на 3-и сутки.

Исследования иммуногистохимического статуса при введении Т-активина показали, что в селезенке происходят выраженные иммуностимулирующие воздействия, затрагивающие Т-клеточное звено.

Препарат Т-активин является средством, нормализующим течение иммунологических процессов при многих заболеваниях [1, 2]. Применение Т-активина корригирует течение иммунологических процессов и нормализует метаболизм [5]. Проведенное нами исследование показывает, что введение иммуномодулятора Т-активина приводит к изменению общего количества CD4-позитивных клеток в разные сроки эксперимента, в разных зонах селезенки, а также к перераспределению соотношений разных типов CD4-позитивных клеток.

Выводы. 1. Изменение гистологической структуры селезенки и клеточного состава расширяет представления о морфологических реакциях лимфоидного органа на введение Т-активина.

2. Применение Т-активина показано с целью иммуномодуляции при патологических состояниях, сопровождающихся иммуносупрессией.

Литература

1. *Донецкова А.Д., Никонова М.Ф., Ярилин А.А.* Экспрессия генов транскрипционных факторов, контролирующих дифференцировку адаптивных популяций CD4+ Т-лимфоцитов в покоящихся и активированных лимфоцитах у здоровых людей // Иммунология. 2011. № 4. С. 184-189.

2. Иммунные механизмы воспалительных процессов при заболеваниях внутренних органов / *И.П. Корюкина, А.В. Туев, В.Ю. Мишланов и др*. Пермь: ПГМА им. Е.А. Вагнера, 2008. 150 с.

3. Иммунодиагностика лимфом / *И.И. Тупицын, Е.Н. Шолохова, Л.Ю. Андреева и др*. // Современная онкология. 2002. Экстра-выпуск. С. 12.

4. *Новиков В.И.* Патогенетическое обоснование использования иммунокорригирующей терапии в комплексном лечении сахарного диабета 1-го типа (экспериментально-клиническое исследование): автореф. … дис. докт. мед. наук. М., 2004. 36 с.

5. Пособие по иммунологии / *Д.К. Новиков, Н.В. Железняк, С.В. Жаворонок и др.* Витебск: Изд-во Витебского гос. мед. инт-та. 1996. 19 с.

6. *Desanti G.E., Cumano A., Golub R.* Identificacion of CD4 progenitors in mouse fetal spleen, a source of resident lymphoid cells // J. of Leukocyte. 2008. Vol. 83, May. P. 1145-1154.

7. *Sternberger L.A., Petrali J.P.* The unlabeled antibody enzyme method. Attempted use of peroxidase-conjugated antigen as the third layer in the technique // J. Histochem. Cytochem. 1977. Vol. 25(9), Sep. P. 1036-1042.

ЯСТРЕБОВА СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА. См. с. 577.

СМИРНОВА ТАТЬЯНА ЛЬВОВНА. См. с. 563.

ЯЛАЛЕТДИНОВА ЛЕЙСАНА РАМИЛОВНА. См. с. 577.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник Чувашского университета» просит авторов руководствоваться нижеприведенными правилами.

1. Авторские оригиналы представляются на бумажном и электронном носителях. Авторский текстовый оригинал должен быть пронумерован и подписан авторами на титульном листе с указанием даты.

2. К статьям, направляемым в редакцию, прилагаются:
1) заявление автора на имя главного редактора;
2) две внешние рецензии;
3) ходатайство научного руководителя;
4) лицензионный договор в двух экземплярах;
5) акт экспертизы (для технических специальностей).

3. Авторы должны указать рубрику, в которой следует поместить статью.

4. Оформление статьи:
1) классификационные индексы Универсальной десятичной классификации (УДК), Библиотечно-библиографического классификатора (ББК);
2) инициалы и фамилия авторов;
3) название статьи;
4) ключевые слова;
5) аннотация статьи;
6) название статьи, инициалы и фамилия автора на английском языке;
7) ключевые слова на английском языке;
8) аннотация на английском языке;
9) текст статьи;
10) пристатейный библиографический список;
11) сведения об авторе.

Авторские оригиналы подготавливаются с помощью компьютера в среде Microsoft Word (файлы типа doc). Формат бумаги А4, поля: справа и слева 4 см, сверху 4,5 см, снизу 5,7 см, от края до верхнего колонтитула 3 см, красная строка 0,75 см. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman размера 11 пт через 1 интервал.

Текст статьи представляется в двух экземплярах с приложением файла в электронном виде.

5. Рисунки. Количество рисунков не более 4. На рисунки должны быть ссылки. Рисунки должны быть внедрены в режиме Вставка Объект Рисунок Microsoft Word. Подрисуночные подписи выполняются шрифтом размера 9 пт.

6. Формулы и буквенные обозначения по тексту. Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation. Шрифт для греческих букв – Symbol, для всех остальных – Times New Roman, основной размер 11 пт, крупный индекс 7 пт, мелкий 5 пт.

Латинские буквы набираются курсивом, буквы греческого алфавита и кириллицы – прямым шрифтом, обозначения матриц, векторов, операторов – прямым полужирным шрифтом.

Формулы располагаются по центру страницы. Номер формулы ставится у правого края. Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

При выборе единиц физических величин рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

7. Таблицы. Текст в таблицах набирается шрифтом размером 9 пт, заголовок выделяется полужирным шрифтом. На таблицы должны быть ссылки.

8. Список литературы. Список строится по алфавиту, записи рекомендуется располагать сначала на языке издания, в которое включен список, затем на других языках. Источники набираются шрифтом Times New Roman размера 9 пт. При оформлении списка литературы необходимо руководствоваться ГОСТом 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

Ссылки на источники в тексте даются в квадратных скобках, например [1], [1. С. 5].

9. Сведения об авторах набираются полужирным шрифтом размера 10 пт ***на русском и английском языках в именительном падеже*** по следующей форме*: Фамилия, имя, отчество – ученая степень, должность, место работы, страна, город. Контактная информация (e-mail).*

10. Статьи, оформленные без соблюдения этих правил, возвращаются без рассмотрения. Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что статья принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст автор должен вернуть вместе с первоначальным экземпляром статьи, а также ответами на все замечания. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

12. В одном номере журнала может быть опубликовано, как правило, не более двух статей одного автора, в том числе в соавторстве.

ВЕСТНИК ЧУВАШСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2013 **№ 3**

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Васильева Ю.О., Мочалов Е.В.
Распределение напряжений под полубесконечной жесткой накладкой
на берегу межфазной трещины в случае действия сосредоточенной силы 3
Гилёв А.Ю., Морозкин Н.Д., Чудинов В.В.
О влиянии скорости подачи нагретой воды на процесс разложения гидрата метана 7
Казакова А.О.
Применение метода коллокации к решению основной краевой задачи
для полигармонического уравнения 12
Малышев Ю.В., Атаманов П.С.
Операторный метод решения интегральных уравнений 19
Стакун А.А.
Задача Дирихле для уравнения типа Лаврентьева–Бицадзе 26
Стакун А.А.
Задача Дирихле для уравнения Чаплыгина 35
Стакун А.А.
Об одной краевой задаче в неограниченной области 41

ФИЗИКА

Абруков В.С., Абруков С.В., Карлович Е.В., Семенов Ю.В.
База знаний процессов горения: будущее мира горения 46
Абруков С.В., Смирнов А.В.
Создание базы знаний – новое направление исследований наноматериалов
и нанотехнологий 52
Закируллин Р.С.
Графоаналитический расчет оптического фильтра
с угловым селективным светопропусканием 57
Кокшина А.В., Кочаков В.Д., Краснова А.Г.
Фотоактивность металл-углеродных пленок 60
Троешестова Д.А., Абруков В.С.
Решение прямых и обратных задач оптики на основе неполных данных 63

ХИМИЯ

Ефимов В.А., Зиновьева Е.Г., Ефейкина Н.Б.
Синтез и физико-химические свойства пероксотитаната калия 68
Колямшин О.А., Данилов В.А., Мальцева Я.С., Кольцов Н.И.
Синтез и свойства сополимеров стирола и метилметакрилата
с олигоуретандиметакрилатом и N-фенилмалеинимидом 72

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Архипов Ю.Р., Сватова О.Г.
Территориальный анализ структурных изменений
в сельскохозяйственном производстве Чувашской Республики 77
Васюков П.В., Васюков С.В., Гасанов И.М., Сироткин В.В.
Гидрофизические параметры как основа качественной оценки
основных зональных почв Чувашской Республики 83

Васякин А.Н., Галимов Ш.Ш.
Экономическое значение сохранения исторических достопримечательностей региона на примере Болгара и Свияжска 89
Двинских А.П., Мозжерин В.В.
Вторичный структурный рельеф Среднего Поволжья 97
Двинских А.П., Рысаева И.А.
Литологическая обусловленность стока взвешенных наносов на востоке Русской равнины 102
Житова Е.Н.
Территориальные особенности женского рынка труда Чувашии 106
Житова Е.Н., Казаков Н.А., Юманова У.В.
Социальная устойчивость сельских обществ Чувашии 109
Константинова Т.Г., Васильева Л.В.
Экологический мониторинг состояния малой реки Кукшум в условиях антропогенного воздействия 114
Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю.
Экологическое состояние атмосферного воздуха жилых зон городских территорий 122
Новых Л.Л., Корнилов А.Г., Дроздова Е.А., Вагурин И.Ю.
Структура почвенного покрова в промышленной зоне горнодобывающих предприятий Белгородской области 126
Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Павлов А.Н., Гуменюк А.Е., Александров А.Н., Яковлев Е.Ю., Захаров А.С.
Исследования оползней Чебоксарского и Мариинско-Посадского правобережья долины Волги, развивающихся в породах татарского яруса пермской системы 132
Рубцов В.А., Мустафин М.Р., Биктимиров Н.М., Ахунзянова Г.Р., Кибардина Е.М.
Территориальные аспекты развития трудовой миграции населения на примере Республики Татарстан 139
Трифонова З.А.
Особенности городского расселения регионов и его влияние на формирование социокультурного потенциала городов (на примере центров национальных республик и округов России) 145
Шлемпа О.А.
Современные ландшафты Чувашии 151

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Архипова Е.В., Руссова Н.В., Свинцов Г.П.
Усовершенствованная методика проектного расчета броневых электромагнитов постоянного напряжения с внедряющимися якорями 156
Афанасьев А.А., Ульянов А.А.
Построение динамических гистерезисных петель электротехнической стали 162
Афанасьев В.В., Кадыков В.К., Приказщиков А.В., Руссова Н.В., Свинцов Г.П.
Методика расчета энергосберегающих клапанных электромагнитов постоянного напряжения 164
Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А.
Физико-химические процессы при электротермической газификации твердых топлив .. 169
Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А., Тарасова В.В.
Исследование электрических режимов электротехнологического газификатора 177
Казаков В.В., Казаков О.В., Немцев Г.А.
Исследование магнитных сверхрешеток дальнего порядка в фольговых ферромагнитных обмотках 184
Кравченко Г.А., Макаров А.М., Пичугин Ю.П.
Оценка ресурса системы высоковольтных электродов генератора озона с многослойным диэлектрическим барьером 193

Куликов А.Л., Клюкин А.Н.
Повышение эффективности релейной защиты
в сетях 110-750 кВ статистическими методами 197
Михеев Г.М.
Определение антиокислительной присадки после электроконвективной очистки
диэлектрической жидкости 205
Михеев Г.М.
Экспериментальное исследование выделения водорода из диэлектрической жидкости
методом лазерной спектроскопии 208
Михеев Г.М., Ефремов Л.Г., Иванов Д.Е.
Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов..... 212
Михеев Г.М., Каландаров Х.У.
Диагностирование и алгоритм работы регулятора напряжения под нагрузкой серии РС 218
Охоткин Г.П.
Методика расчета мощности солнечных электростанций..... 222
Охоткин Г.П.
Расчет мощности солнечных электростанций на LabVIEW..... 231
Федоров О.В., Голубцов Н.В., Ефремов Л.Г.
Формирование системы инновационного менеджмента в энергокомпаниях..... 233
Чихняев В.А., Ахметзянов Д.И.
Исследование электромеханических свойств вентильно-индукторного двигателя..... 240

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Агаков В.Г., Малинин Г.В., Абрамов С.В.
Эффекты конечной разрядности двоичных чисел при реализации цифровых фильтров 246

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Анохин П.А.
Кластеризация пользователей рекламной сети
по социально-демографическим признакам 252
Артемьев И.Т., Артемьев Э.И., Иванов С.О.
Развитие теории ломаных однофакторных производственных функций 254
Артемьев И.Т., Артемьев Э.И., Иванов С.О.
Анализ функции Кобба–Дугласа с точки зрения аксиом «разумной экономики»..... 257
Данилова Н.П., Славутская Е.В., Славутский Л.А.
Нейросетевой анализ интеллектуальных показателей младших подростков..... 260
Замкова Т.В., Решетников А.В., Галанина Н.А.
Способы взаимодействия агентов
в агентно-ориентированной системе управления вузом..... 264
Иванов С.А.
Моделирование группировок объектов в системах массового обслуживания
в SimEvents 267
Иванов С.А.
Модель сервиса с контекстно-зависимой вместимостью
в системах массового обслуживания в SimEvents..... 270
Песошин В.А., Иванова Н.Н.
Алгоритм обнаружения и исправления одиночных ошибок при цифровой обработке
марковских сигналов в системе остаточных классов 273
Песошин В.А., Иванова Н.Н.
Оптимизация аппаратурных затрат при реализации отказоустойчивых устройств
обработки марковских сигналов на основе системы счисления в остаточных классах.... 276

Петрова М.В., Ануфриева Д.А.
Исследование возможностей методов интеллектуального анализа данных
при моделировании образовательного процесса в вузе 280
Сидоркина И.Г., Килеев В.В.
Кодировка символов переменной длины в алгоритме Дамерау–Левенштейна 285
Сидоркина И.Г., Савинов А.Н.
Три алгоритма управления доступом к КСИИ
на основе распознавания клавиатурного почерка оператора 293
Шангараев И.Р., Велиев Д.Э., Галанина Н.А., Звездин В.В.
Способ управления процессом лазерной прошивки отверстий в сталях
на основе анализа ультразвуковых колебаний 302

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Алексеев А.П., Ядарова О.Н.
Доплеровский ультразвуковой контроль
производительности вентиляторной установки 307
Левин П.А., Бычкова И.Ю., Славутский Л.А.
Изменчивость импульсных ультразвуковых сигналов над нагретой поверхностью 310

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Шалунов Е.П., Смирнов В.М.
О механизмах формирования структуры и свойств композиционных материалов
системы Cu-Al-C-O, получаемых на основе метода реакционного
механического легирования 314

МЕДИЦИНА

Автономова О.И., Карзакова Л.М., Геранюшкина Е.И.,
Комелягина Н.А., Кудряшов С.И.
Особенности иммуно-гематологических проявлений острого
и хронического течения гломерулонефрита 323
Акберов Р.Ф., Зогот С.Р., Зыятдинов К.Ш.
Гепатоцеллюлярный рак: эпидемиология, лучевая диагностика,
современные методы лечения (обзор литературы) 330
Александров Е.В.
Медико-социальный и эколого-биогеохимический анализ феномена долгожительства
в Чувашии 336
Алексеев В.С., Катанов Е.С.
Сочетанная травма селезенки 341
Андреев Р.Ю., Андреев Ю.Г., Волков А.Н.
Варикоцелэктомия из мини-доступа 347
Андреев Ю.Г., Волков А.Н., Андреев Р.Ю.
Клинико-анатомическое обоснование метода высокой перевязки яичковой вены
при варикоцеле 351
Андюшкин А.И., Сапожников С.П., Карпунина А.В.
Кристаллография биологических жидкостей (обзор литературы) 355
Арсютов О.В., Арсютов В.П.
Влияние изменений содержания в тканях гистамина
и ДНК на заживление пищеводно-кишечного соустья в эксперименте 359
Арсютов О.В., Арсютов В.П.
Роль гистамина, серотонина, катехоламинов, гепарина, ксантиноксидазы
в заживлении поврежденной во время операции брюшины 363

Артемьева И.Л., Сергеева В.Е.
Соматостатин-позитивные структуры тимуса 368
Баиндурашвили А.Г., Сергеев С.В., Петров А.Г., Николаев С.А.
Клинико-инструментальные проявления рассекающего остеохондрита коленного сустава у детей 370
Возякова Т.Р., Малов А.А.
Функциональные результаты коллапсохирургических операций у больных распространённым деструктивным туберкулёзом 375
Волков В.Е., Волков С.В.
Современные представления о роли нижнего эзофагеального сфинктера в патогенезе еюноэзофагеальной рефлюксной болезни 379
Волков С.В.
Клиническая оценка последствий полного удаления желудка: актуальные вопросы классификации и ранней диагностики болезней еюноэзофагеального комплекса 386
Голенков А.В.
Уровень знаний студентов о болезни Альцгеймера 393
Голенков А.В., Малышкина Ю.Н., Сподина Е.А., Ундеров Д.А.
Ошибки в диагностике и лечении болезни Альцгеймера 397
Гордова В.С., Сапожников С.П., Сергеева В.Е., Карышев П.Б.
Основы биосилификации (обзор литературы) 401
Денисова Т.Г., Васильева Э.Н., Портнова Е.В.
Новые подходы к профилактике интранатальных осложнений 409
Диомидова В.Н., Валеева О.В., Захарова О.В., Конькова М.В., Ищенко А.И., Чамеева Т.В., Семенова Е.Н.
Возможности комплексной эхографии в диагностике доброкачественных заболеваний матки и ее придатков 415
Захарова В.В., Гаврилова Э.С., Карпунина А.В., Ермолаева А.Ю.
Динамика показателей врожденного и адаптивного иммунного ответа у больных язвенной болезнью луковицы двенадцатиперстной кишки в ходе стационарного лечения 422
Зогот С.Р., Акберов Р.Ф.
Оптимизация лучевых методов исследования в диагностике рака гепатобилиопанкреатодуоденальной зоны 426
Каралин А.Н., Кокуркин Г.В., Волков А.З.
Синдром «клювовидного отростка», плечелопаточный периартроз 431
Карзакова Л.М., Алексеева Е.П., Кузнецова Л.Н., Мучукова О.М., Ухтерова Н.Д.
Совершенствование схемы лечения хронической обструктивной болезни легких на основе топической цитокинотерапии 437
Катанов Е.С., Вазанов А.А., Анюров С.А.
Некоторые особенности желчевыделительной функции печени после холецистэктомии и ее роль в развитии послеоперационных желчеистечений 443
Копецкий И.С., Прокопьев В.В.
Сравнительная оценка препаратов «Остим-100» и «ГАП 85-Д» для профилактики осложнений при ортопедическом лечении металлокерамическими конструкциями, опирающимися на зубы с сохраненной пульпой 448
Корсакова Н.В., Лузикова Е.М., Никифорова А.В., Ефимова С.Ю., Фролова К.А., Иванов С.Б., Аничкина С.Г.
Способ прогнозирования риска развития вида вторичной катаракты 450
Краснов М.В., Боровкова М.Г., Николаева Л.А.
Состояние вскармливания детей первого года жизни в современных условиях 455

Леженина С.В., Андреева Н.П.
Оценка распространенности табакокурения и состояния функции внешнего дыхания у студентов медицинского факультета..... 461
Мальчугина Е.Л., Диомидова В.Н., Агафонкина Т.В.
Маммосцинтиграфия в алгоритме лучевой диагностики рака молочной железы..... 465
Мухамеджанова Л.Р., Ильина Р.Ю.
Анализ взаимосвязи терапии психотропными средствами и распространенности остеопоретических переломов среди психически больных..... 470
Мухамеджанова Л.Р., Ильина Р.Ю.
Оценка эффективности димефосфона в комплексном лечении заболеваний пародонта..... 476
Паштаев Н.П., Григорьева И.Н.
Микроинвазивная трансвитреальная фиксация разрывов и отрывов сетчатки..... 481
Паштаев Н.П., Макарова О.Г.
Клеточные технологии при дегенерациях сетчатки. Обзор литературы..... 485
Родионов В.А., Агандеева М.С.
Распространённость анемий у детей города Чебоксары..... 491
Сапожников М.Ю., Сапожникова А.А., Сапожникова С.Ю., Софронова Е.В.
Изменения показателей функции внешнего дыхания и эластичности сосудистой стенки под действием лазерной терапии у больных ишемической болезнью сердца..... 497
Семенова Л.М., Семенова Т.О., Яковлева Л.М.
Функциональная адаптация школьников к учебному процессу..... 502
Смелов С.В.
Закономерности топографо-анатомических взаимоотношений подбрюшинных структур женского таза..... 506
Солёнова Е.А., Гурьянова Е.А., Алексеева Л.А.
Анализ активности структур тимуса и раннего иммунного ответа на фоне приема иммуномодулятора..... 511
Стекольщиков Л.В.
Заболеваемость туберкулезом населения трудоспособного возраста Чувашской Республики..... 516
Стекольщиков Л.В.
Средний возраст смерти населения Чувашской Республики..... 520
Стручко Г.Ю., Стоменская И.С., Кострова О.Ю., Васильева С.О., Степанов В.Н., Степанова И.В.
Маркеры некроза миокарда в зависимости от изменений сегмента ST у больных острым инфарктом миокарда..... 527
Сусликов В.Л., Толмачева Н.В., Александров Е.В.
Анализ причинно-следственных связей феномена долгожительства..... 531
Тимофеева Л.А., Алешина Т.Н., Максимова А.В.
Роль комплексного ультразвукового исследования в оценке первичного рака щитовидной железы в дооперационном периоде..... 540
Тимофеева Л.А., Максимова А.В., Алешина Т.Н.
Ранняя лучевая диагностика непальпируемых узлов щитовидной железы..... 546
Туктанов Н.В.
Эффекты инфузионной озонотерапии у пациентов с нарушением функции щитовидной железы..... 549
Туктанов Н.В., Кичигин В.А.
Особенности перекисного окисления липидов при нарушении функции щитовидной железы..... 555
Федорова М.В., Смирнова Т.Л.
Иммуногистохимические различия плацент при пролонгированной и истинно переношенной беременности..... 560

Цыпленкова Н.С., Панова Е.И., Кичигин В.А., Доманова Т.Г.
Связь массы тела с особенностями сердечного ритма у мужчин
с артериальной гипертензией 563
Шатских О.А.
Реакция аминосодержащих структур тимуса на введение мелатонина
при разных режимах освещения 568
Ялалетдинова Л.Р., Ястребова С.А.
CD4-позитивные клетки тимуса при введении хорионического гонадотропина 572
Ястребова С.А., Смирнова Т.Л., Ялалетдинова Л.Р.
Реакция CD4-позитивных макрофагов селезенки на введение Т-активина 578

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 581

ВЕСТНИК ЧУВАШСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Естественные и технические науки
№ 3 2013

Редактор ***Н.И. Завгородняя***
Корректор ***Г.Ф. Губанова***
Технический редактор ***Н.Н. Иванова***

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-51087 от 04.09.2012 г.

Сдано в набор 02.07.2012. Подписано в печать 13.09.2012. Формат 70×100/16.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 47,4. Уч.-изд. л. 62,32.
Тираж 500 экз. Заказ № 670. Свободная цена.

428015, Чебоксары, Московский просп., 15
Типография Чувашского университета