

Innovations in technical and natural sciences

Monograph

Volume 4



«East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH

**Vienna
2017**

Innovations in technical and natural sciences: Monograph, Volume 4/ ed. by P. Busch.
– Vienna: “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education
GmbH, 2017. – 134 p.

ISBN-13 **978-3-903115-70-5**

ISBN-10 **3-903115-70-3**

The monograph presents various approaches for better understanding of successful implementation and elaboration of sustainable economic development on regional level.

Authors:

*Litvishko V, Litvishko O, Myaskovskaya T, Isaqov V.Y, Yusupova M.A., Matveeva L.I,
Yarzhemsky A.S., Khadzharagova E.A., Bagaeva M.E., Valeeva E.R., Ziyatdinova A.I.,
Serazetdinova F.I., Mikhaylin E.S., Stepanova N.V., Fomina S.F., Yusupova N.Z.,
Khairullina L.R., Zaporozhets A., Redko O., Zamurnjak O., Nikulin O.V.*

Typeset in Berling by Ziegler Buchdruckerei, Linz, Austria.

Printed by

“East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH
Vienna, Austria on acid-free paper. Circulation of 1000 copies

Am Gestade 1, 1010 Vienna, Austria

info@ew-a.org, www.ew-a.org

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without the prior permission in writing of the publisher, nor be otherwise circulated in any form of binding or cover other than that in which it is published and without a similar condition including this condition being imposed on the subsequent purchaser.

While every effort and care has been made to ensure the accuracy of the information contained in this publication, the publisher cannot accept responsibility for any errors or omissions it may contain. The opinions expressed in this book are the responsibility of the author(s) and do not necessarily reflect the opinion of the editor.

© “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017

*Litvishko Valery,
Russian University of Economics (Moscow),
Associate Professor, E-mail: lvs-1@mail.ru*

*Litvishko Oleg,
Russian University of Economics (Moscow),
Associate Professor, E-mail: ol-1@mail.ru*

*Myaskovskaya Tatiana,
Russian University of Economics (Moscow), Senior teacher,
E-mail: myaskovskaya@rambler.ru*

Chapter 1. Ecologization of plant protection products

Thanks to advances in the creation of polymeric materials with specific functional properties polymer systems and devices with controlled release of chemically and biologically active substances are intensively developed nowadays. Such systems when placed in action environment release substances at a preset concentration and time schedule.

Studies on development of such systems are among the most promising and popular areas of science and technology in the industrialized countries. One of the options of excretory systems are microcapsules (MC), where the encapsulated substance is enclosed in a polymeric shell serving as a membrane through which release occurs by the diffusion mechanism¹.

Introduction of agrobiotechnologies based on microencapsulated systems of chemical and biochemical plant protection products is of great interest².

¹ Солодовник В. Д. Микрокапсулирование. – М.: Химия. – 1980.

² Рахмедов Б. Ч., Литвишко В. С. Экологические аспекты применения микро-капсулированных систем//«Экологическая, продовольственная и медицин-ская безопасность человечества»: Материалы первого международного конгресса. – М.: Изд-во РЭУ им. Г.В. Плеханова. – 2011. – часть 2. – С. 210–211; Литвишко В. С., Рахмедов Б. Ч. Биологические аспекты применения микро-капсулированных пестицидов//Материалы международной конференции «Биология-наука XXI века». – М.: Макс- пресс. – 2012. – С. 491–493; Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма инсектицида пролонги-рованного действия//Universum: Химия и биология: электронный научный журнал. – 2014. – № 3 (4). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/1071> (датаобращения: 14.12.2015); Диденко А. В., Литвишко В. С. Ecologization of plant protection products usage technology//“Современные проблемы биохимической физики”: материалы XIV международной молодежной конференции ИБХФ-РАН-ВУЗы. – М.: РУДН. – 2014. – С. 295; Литвишко В. С. Микрокапсулированные инсектициды регулируемого выде-ления//«Инновации в науке»: сборник статей по материалам XLV международной научно-практической конференции. –

In the application of plant protection chemicals controlled release techniques allow us to solve the problem of prolonged input of small doses of chemicals in quantities safe for humans, animals and the environment in general.

The microencapsulated systems of controlled release containing the active ingredient (AI) in a polymeric cover are well known. While regulating the thickness and permeability of polymeric covers of microcapsules (MK) is possible to receive optimal rate allocation of encapsulated substance release.

The subject of this work is the creation of a microencapsulated form dichloran delayed (prolonged) release¹. Dichloran (0, 0-diethyl-s-dichlorosalicylic) is used as a soil insectoacaracide to deal with soil pests.

Getting polymer membranes was carried out with method of interfacial polycondensation² using MDI (based on the difenilmetana-diisocyanate) and polyethylenepolyamine (in the amine composition of which Ethylenediamine, Diethylenetriamine, 1,2-amino-ethylpiperazin are included) — to form polyurea (PM), and ethylene glycol to form polyurethane (PU).

In both cases the granules on the kaolin with carboxymethyl cellulose (Na-CMC) dichlorvos soaked were subjected to microencapsulation. The grain size of 0.25–1.5 mm, determines the size of the microcapsules. As a result of polycondensation in one case on the surface of the granules polyurea and in another polyurethane membrane were formed.

On the basis of the developed method of microencapsulation dichloran let to establish optimum formulations of microcapsules characterized by maximum duration of drug action several compositions based on polyurethane (Table 1) and polyurea (Table 2) polymers have been composed.

The given compositions of microencapsulated forms have been biologically tested. In tables 3, 4, 5 are given the results of testing conducted in the form of a series.

Новосибирск: АНС «Сибак». – 2015. – № 5 (42). – С. 39–43; Литвишко В. С. Экология применения микрокапсулированной полимерной формы пестицидов//«Интеграционные процессы в науке в современных условиях». Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна. – 2016. – С. 50–51.

¹ Litvishko V. S., Myaskovskaya T. V. Microencapsulation as way to increase the effectiveness of insecticides//«Theoretical and Applied Sciences in the USA»: Selection Collection of articles based on materials of 1-st International scientific conference. – New York: Cibunet publishing. – 2014. – № 5 – P. 3–6; Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма дихлорона длительного выделения// Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии». – N 4 (16), – М., «Международный центр науки и образования». – 2014. – С. 165–170.

² Литвишко В. С., Диденко А. В. Определение состава компонентов реакции поликонденсации методом ИК-спектроскопии//Естественные и технические науки. – М.: «Спутник +». – 2016. – № 2. – С. 97–99.

Table 1. – Composition of microencapsulated form dichloran polyurethane

№	Name of components	Mass fraction,%			
		1	2	3	4
1	Dichloran (in recalculation on 100%)	10,0	10,0	10,0	10,0
2	Granules treated with Na – CMC	90,0	90,0	90,0	90,0
3	Polyurethane (over 100%)	0,5	1,0	1,7	2,4

Table 2. – Compositions of microencapsulated form of dichloran on the basis of polyurea

Name of components	Mass fraction,%													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dichloran (in recalculation on 100%)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0
Granules treated with Na – CMC	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	85,0	85,0	85,0	80,0	80,0	80,0
Polyurethane (over 100%)	0,5	1,0	1,7	2,4	10,0	15,0	20,0	25,0	10,0	15,0	20,0	10,0	15,0	20,0

Table 3. – Persistence of microencapsulated dichloran with polyurea and polyurethane shells at the rate of 40 mg AI kg-1 soil (series 1)

The name and composition	The mortality rate of beetles (weeks)													
	Podsol								Chernozem					
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	
Standard (granules + 10% dichloran)	100	100	100	100	100	10	0	0	100	100	100	20	0	
(granules + 10% dichloran)+0,5% PM	100	100	100	100	100	100	100	92	100	100	100	100	40	
(granules + 10% dichloran) +0,5% PU	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	70	30	

Table 4. – Persistence of microencapsulated dichloran with polyurea and polyurethane shells at the rate of 40 mg AI kg-1 soil (series 2)

The name and composition	The mortality rate of beetles (weeks)				
	Podsol			Chernozem	
	6	7	8	4	5
Standard (granules + 10% dichloran)	100	7,5	0	95	30

The name and composition	6	7	8	4	5
(granules + 10% dichloran) +1,0% PM	100	90	57	70	7,5
(granules + 10% dichloran) +1,7% PM	100	72,5	67	70	25
(granules + 10% dichloran) +2,4% PM	100	15	0	100	30
(granules + 10% dichloran) +1,0% PU	100	37,5	12	70	25,5
(granules + 10% dichloran) +1,7% PU	100	95	37	70	12
(granules + 10% dichloran)+2,4% PU	82,5	30	0	100	30

Table 5. – Persistence of microencapsulated dichloran with polyurea and polyurethane shells at the rate of 40 mg AI kg⁻¹ soil (series 3)

The name and composition	The mortality rate of beetles (weeks)							
	Podsol				Chernozem			
	2	3	4	5	2	3	4	5
Standard (granules + 10% dichloran)	100	100	80	72	100	100	52	7,5
(granules + 10% dichloran) +10% PM	100	100	75	57	100	100	100	12,5
(granules + 10% dichloran) +15% PM	100	100	100	47	100	100	100	20
(granules + 10% dichloran) +20% PM	45	32	10	0	20	20	0	0
(granules + 10% dichloran) +25% PM	45	0	0	0	20	10	0	0
(granules + 15% dichloran) +10% PM	100	100	85	7,5	100	100	82	7,5
(granules + 15% dichloran) +15% PM	100	100	100	80	100	100	100	30
(granules + 15% dichloran) +20% PM	100	100	100	40	100	100	75	25

The name and composition	2	3	4	5	2	3	4	5
(granules + 20% dichloran) +10% PM	100	100	85	0	100	100	100	0
(granules + 20% dichloran) +15% PM	100	100	60	57,5	100	100	95	15
(granules + 20% dichloran) +20% PM	100	100	100	40	100	100	70	10

The given data confirm the perspective of samples with shells of polyurea and polyurethane with minimum content (samples 4, 5 — series 1). The use of polyurea is the most effective. So, for sample 4, the increase in persistence on the podzol compared to the benchmark was almost 3 weeks (1.6 times), Chernozem — 1 week (1.3 times) at 100% defeat beetles *Tenebrio molitor*. The research has revealed that the features of microencapsulated form minimize dichloran losses due to its absorption by the soil.

Thus as result of the study has been developed the microencapsulated form of dichloran providing extended validity from pests-insects, reducing the multiplicity of treatments and, consequently, consumption norms. This reduces the risk of overdose, the actions of the “peak” concentrations at the initial time, which can cause poisoning of humans and warm-blooded. From an economic point of view, the advantage of microencapsulated form is associated with more efficient use of the insecticide, which leads in general to the reduced economic costs of the operation.

The study of the biological activity depending on MC permeability was conducted on the example of methylparathion (0.0-dimethyl-0-4-nitrophenylthiophosphate) which is an effective means to control pests of cotton, legumes, tomato, fruit trees and other crops. Samples of xylene solution of methyl parathion in the form of MC¹ and emulsions were tested. A microencapsulated form is an aqueous suspension of microcapsules with a volume-average radius of 10±5 microns with polyurea shells, emulsion form is a water dispersion of insecticide. The content of the main components in microencapsulated form is shown in Table 6.

¹ Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма метафоса регулируемого выделения// Международный научный журнал «Наука и мир». – Волгоград – 2014. – № 5 (9). – том. 3. – С. 109–110; Литвишко В. С. Особенности микрокапсулирования метафоса//«Инновации в науке»: сборник статей по материалам ЛПМ международной научно-практической конференции. – Новосибирск: АНС «Сибак». – 2016. – часть 1. – № 1 (50). – С. 11–15; Литвишко В. С., Литвишко О. В., Селедцова Г. М. Техно-экономические показатели микрокапсулированного метафоса//«Инструменты и механизмы современного инновационного развития». Сборник статей международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна. – 2016. – С. 30–33.

Table 6. – Content of the main components in the formulations of methylparathion microencapsulated form

Heading No.	Name of components	Weight content, %				
		1	2	3	4	5
1	Methylparathion	31.0	29.0	23.0	15.5	12.5
2	Polyurea	2.0	10.0	20.0	30.0	40.0

Presented compositions of microencapsulated form of methylparathion passed biological tests in greenhouse conditions against aphids on cucumbers on protected ground (Table 7).

Table 7. – Data of biological tests of compositions samples of methylparathion microencapsulated form

Formulation No.	Concentration of methylparathion, %	Aphids death, %, on days of recording					
		1	2	3	7	11	14
1	0.0018	96.8	56.0	33.0	59.0	86.0	75.0
	0.0054	98.2	97.0	93.0	90.0	88.0	77.0
2	0.0018	14.6	57.0	12.0	37.0	63.7	38.7
	0.0054	42.2	83.0	39.0	47.5	78.7	72.5
3	0.0054	6.9	74.0	42.0	67.0	52.0	49.0
	0.0162	34.0	68.0	27.0	92.5	88.7	90.0
4	0.0054	5.9	25.0	12.0	22.0	43.7	18.7
	0.0162	5.9	46.0	44.0	48.0	70.0	47.0
5	0.0054	0.2	25.0	12.0	36.0	40.0	29.0
	0.0162	2.7	36.0	16.0	25.0	53.0	13.0
Reference	0.0018	96.0	27.5	25.0	5.0	10.0	10.0
	0.0054	98.0	73.7	35.0	26.2	35.0	12.5
	0.0162	99.8	95.0	51.0	6.6	40.0	5.0

The above data shows that the effectiveness of the protective action of methylparathion microencapsulated form against aphids increases with decreasing thickness of the polymer shell.

Whereby, the activity of microencapsulated methylparathion (formulation 1) is kept up to 14 days, slightly reduced after that. The reference sample (at a concentration of 0.0054%) loses 65% activity after 2 days.

Samples of malathion [O, O-dimethyl-S- (1,2-dicarbetoxyethyl) dithiophosphate] which are used in agriculture for controlling harmful insects, mites and pests of food reserves in medical, sanitary and household pest control, in veterinary medicine to combat exogenous and internal parasites of animals and birds, and for destruction of flies and mosquitoes in livestock buildings also were tested.

Malathion samples in a microencapsulated form were tested in comparison with an emulsive form¹. A microencapsulated form is an aqueous suspension of microcapsules with a volume-average radius of 30 ± 20 microns with polyurea shells, an emulsion form is a water dispersion of insecticide. The content of the main components in formulations of a microencapsulated form is shown in Table 8.

Table 8. – The content of the main components in formulations of malathion microencapsulated form

Heading No.	Name of components	Weight content, %				
		1	2	3	4	5
1	Malathion	13.44	11.04	6.03	3.90	2.63
2	Polyurea	1.47	4.94	6.81	9.46	13.38

Presented formulations of malathion microencapsulated form were tested in greenhouse conditions against aphids using standard methods.

Biological tests results are shown in Table 9 in comparison with the reference (an emulsive form). Treatment was made with the formulations with malathion active substance concentration 0.012%.

Table 9. – Data of biological tests of malathion microencapsulated form compositions samples

Formulation No.	Aphids death, %, on days of recording							
	1	5	6	7	8	12	13	14
1	90.6	72.5	71.7	70.0	67.5	76.7	38.3	35.0
2	48.1	51.2	76.7	55.0	63.3	63.3	25.0	–
3	36.4	38.7	45.0	7.5	–	–	–	–
4	4.2	–	–	–	–	–	–	–
5	3.1	–	–	–	–	–	–	–
Reference	97.3	5.0	–	–	–	–	–	–

The dynamics of aphids' death in the first days of recording is shown in details in Table 10.

Table 10. – Data of biological tests of malathion microencapsulated form compositions samples

Formulation No.	Aphids death, %, on days of recording			
	1	2	3	5
1	90.6	76.2	70.0	72.5
2	48.1	81.2	76.2	51.2
3	36.4	67.5	55.0	38.7

¹ Litvishko V.S., Myaskovskaya T.V. Ecologization of agrotechnologies// «Austrian Journal of Technical and Natural Sciences». – Austria, Vienna, – 2015. – № 5–6, – P. 31–34.

Formulation No.	1	2	3	4
4	4.2	16.2	11.6	–
5	3.1	17.5	10.0	–
Reference	97.3	11.2	8.3	5.0

The above data shows that the duration of the protective effect of malathion microencapsulated form against aphids increases with decreasing thickness of the polyurea shell (formulations 3, 2, 1). Formulations 4 and 5 are low active. Efficiency in case of malathion microencapsulation (formulations 1, 2) increases from 1 to 12 days compared to the reference sample.

Data of biological tests shows that using the same introduction rate due to microencapsulation the duration of the insecticides effect can be increased in several times. This is important taking into account types of insects, geographical habitats and agricultural technologies features.

Ecologization of agrotechnologies using microencapsulation systems with controlled release is associated with obtaining minimal doses of insecticides to ensure, on the one hand, persistence of the effective protection from pests, and on the other hand, their reduced toxicity that makes drugs safe for humans and farm animals. Whereby, the reduction of plant treatment frequency results in reduction of the environmental burden on the soil and the environment in general.

The introduction of technologies based on microencapsulated biochemistry protection means is of great interest. Biochemical microencapsulated forms based on pheromones are able to dose attractant for a long length of time in amounts that cause an effective attraction of insect pests in pheromone traps at a constant release rate.

This date addresses creation of a microencapsulated form of the pheromone with sustained (prolonged) release¹. This substance (4R, 8R)-4.8-dimetyl decanal is a synthetic analogue of the natural aggregation pheromone designed to combat cucuid beetles and tenebrionid beetles while storage of grain stocks. Synthesis of pheromone is developed in N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry. According to the represented data, 4.8-dimetyl decanal is a sensitive compound, prone to decomposition when heated till 120–140°C, photochemical oxidation, polymerization. Keeping the pheromone in the absence of lighting, as a solution in saturated hydrocarbons, constrains its decomposition. Thereby, the most stable form of pheromone is a hexane solution 4.8-dimetyl decanal with a concentration of 10–50 mg/ml. Maximum attractant activity for *T. confusum* beetles is achieved in the range of daily doses of about 10 mg/dispenser.

¹ Литвишко В. С., Диденко А. В., Мясковская Т. В. Ecological systems of food protection// Международный научный журнал «Наука и мир» – Волгоград – 2015. – № 9 (25). – том. 1. – С. 27–29.

Preparation of microcapsules was carried out by double dispersion method with obtaining shells from ethyl cellulose. Kaolin granules with carboxymethylcellulose (Na-KMTS) impregnated with dimethyl decanal solution in n-hexane was microencapsulated. The size of granules, constituting 50–500 microns, determined the size of microcapsules. Release of tested MC of 100–200 microns was carried out by fractioning using a standard set of sieves.

A distinctive feature of pheromones action is their ability to exercise attractant activity at strong preset concentration of the active substance. Increasing as well as reducing of pheromone doses results in disorientation of species and can cause lack of their attraction. In this regard, for MC composition (Table 11) biological tests of pheromone microcapsules were carried out to fix an optimal dose of pheromone in capsules (Figure 1).

Table 11. – Composition of microencapsulated form of pheromone based on ethyl cellulose

N	Name of the component	Weight content, %
1	4.8-dimethyldecanal	0.05
2	kaolin granules	94.29
3	ethyl cellulose	5.66

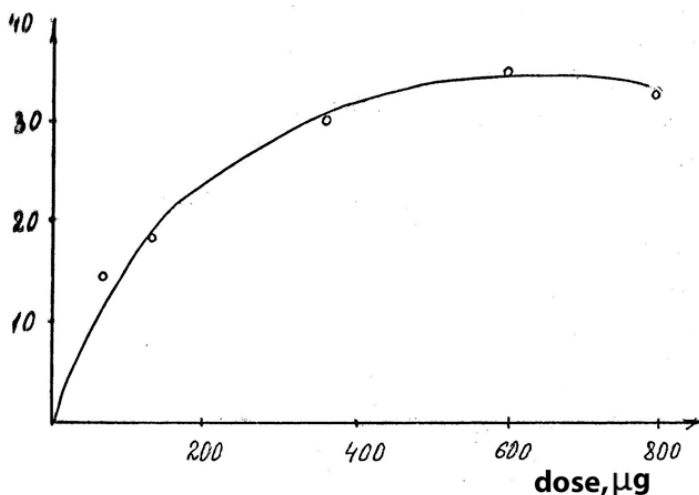


Figure 1. Dependence of attraction (%) of *T. confusum* beetles on a dose of pheromone in the composition of a microencapsulated form

Biological tests were carried out in the olfactometer. Attractant activity was determined on a mixed-sex population of *T. confusum* adults. Figure 1 shows dependence of microencapsulated pheromone in comparison with hexane solution.

Test results indicate that the encapsulated pheromone for 16 days retained 52% of its activity, whereas the standard pheromone completely lost its activity after a week. Obviously, MC shells serve as a protection of the pheromone from degradation and chemical transformation.

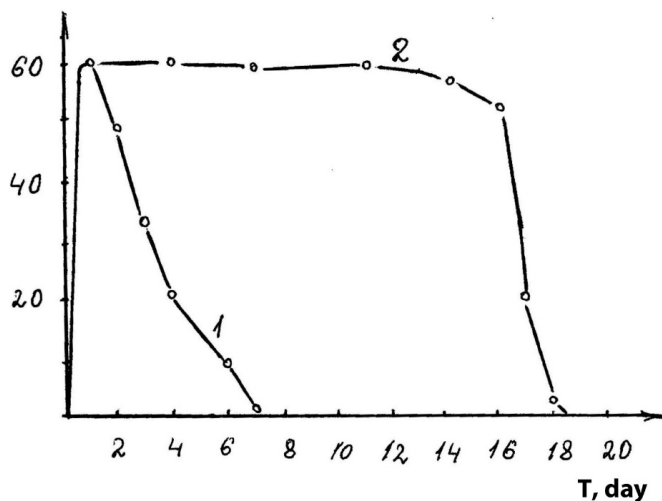


Figure 2. Dependence of the degree of attraction (%) of T confusum beetles on time for liquid (1) and microencapsulated (2) pheromone.

These findings of studies of the pheromone in a microencapsulated form show its high efficiency and the possibility of permanent, sustained release of the attractant with achievement of required emission rate mode. Obviously, while adjusting MC particle-size indexes (size, shell thickness, surface area of capsules), and shell permeability (using different polymers), the optimal rate of the pheromone release can be obtained. Thus, as can be seen, the duration of the pheromone release depends on its initial amount, and release rate.

The biological tests results evidence the protective effect of MC shells and a substantial increase in the efficiency of the pheromone in the encapsulated form.

The given data indicate the possibility of solving environmental problems through the use technologies based on microencapsulated plant protection products.

References:

1. Солодовник В. Д. Микрокапсулирование. – М.: Химия. – 1980.
2. Рахмедов Б. Ч., Литвишко В. С. Экологические аспекты применения микрокапсулированных систем // «Экологическая, продовольственная и медицинская безопасность человечества»: Материалы первого международного конгресса. – М.: Изд-во РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2011. – часть 2. – С. 210–211.

3. Литвишко В. С., Рахмедов Б. Ч. Биологические аспекты применения микрокапсулированных пестицидов//Материалы международной конференции «Биология- наука XXI века». – М.: Макс- пресс. – 2012. – С. 491–493.
4. Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма инсектицида пролонгированного действия//Universum: Химия и биология: электронный научный журнал. – 2014. – № 3 (4). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/1071> (датаобращения: 14.12.2015).
5. Диденко А. В., Литвишко В. С. Ecologization of plant protection products usage technology//“Современные проблемы биохимической физики”: материалы XIV международной молодежной конференции ИБХФ-РАН-ВУЗы. – М.: РУДН. – 2014. – С. 295.
6. Литвишко В. С. Микрокапсулированные инсектициды регулируемого выделения//«Инновации в науке»: сборник статей по материалам XLV международной научно-практической конференции. – Новосибирск: АНС «Сибак». – 2015. – № 5 (42). – С. 39–43.
7. Литвишко В. С. Экология применения микрокапсулированной полимерной формы пестицидов//«Интеграционные процессы в науке в современных условиях». Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна. – 2016. –С. 50–51.
8. Litvishko V. S., Myaskovskaya T. V. Microencapsulation as way to increase the effectiveness of insecticides//«Theoretical and Applied Sciences in the USA»: Selection Collection of articles based on materials of 1-st International scientific conference. – New York: Cibunet publishing. – 2014. – № 5 – P. 3–6.
9. Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма дихлорона длительного выделения//Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии». – N 4 (16), – М., «Международный центр науки и образования». –2014. – С. 165–170.
10. Литвишко В. С., Диденко А. В. Определение состава компонентов реакции поликонденсации методом ИК-спектроскопии//Естественные и технические науки. – М.: «Спутник +». – 2016. – № 2. – С. 97–99.
11. Литвишко В. С. Микрокапсулированная форма метафоса регулируемого выделения//Международный научный журнал «Наука и мир». – Волгоград – 2014. – № 5 (9). – том. 3. – С. 109–110.
12. Литвишко В. С. Особенности микрокапсулирования метафоса//«Инновации в науке»: сборник статей по материалам LIII международной научно-практической конференции. – Новосибирск: АНС «Сибак». – 2016. – часть 1. – № 1 (50). – С. 11–15.
13. Литвишко В. С., Литвишко О. В., Селедцова Г. М. Техно-экономические показатели микрокапсулированного метафоса//«Инструменты и механизмы

- современного инновационного развития». Сборник статей международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна. – 2016. – С. 30–33.
14. Litvishko V. S., Myaskovskaya T. V. Ecologization of agrotechnologies // «Austrian Journal of Technical and Natural Sciences». – Austria, Vienna, – 2015. – № 5–6, – P. 31–34.
 15. Литвишко В. С., Диденко А. В., Мясковская Т. В. Ecological systems of food protection // Международный научный журнал «Наука и мир» – Волгоград – 2015. – № 9 (25). – том. 1. – С. 27–29.

*Isaqov Valijon Yunusovich,
 Doctor of Biological Sciences,
 Professor Kokand State Pedagogical Institute
 Uzbekistan, Kokand city
 E-mail: odiljon.tobirov@mail.ru*

*Yusupova Mohidil Abdumutalipovna,
 doktorant, Fergana State University,
 Uzbekistan, Fergana*

*Tobirov Odiljon Qobiljon o'g'li,
 student, Kokand State Pedagogical Institute,
 Uzbekistan, Kokand city*

Chapter 2. Ecological and land reclamation Fergana valley and ways to improve them

*Исаков Валиджон Юнусович,
 доктор биологических наук, профессор
 Кокандский государственный
 педагогический институт
 Ўзбекистан, г Коканд
 E-mail: odiljon.tobirov@mail.ru*

*Юсупова Мохидил Абдумуталиповна,
 докторант,
 Ферганский государственный университет
 Ўзбекистан, г Фергана*

*Тобиров Одилжон Қобилжон ўгли,
 студент,
 Кокандский государственный
 педагогический институт
 Ўзбекистан, г Коканд*

Глава 2. Эколого-мелиоративное состояние земель Ферганской долины и пути их улучшения

Ферганская долина, как тектоническая впадина, начавшая свое развитие в палеозое и являющейся своим днищем горной равниной, обрамлена тремя кулисами горных поднятий. Верхняя кулиса, представленная высокими горами, находится

за пределами Узбекской части долины. В пределах низкой кулисы и на части средней кулисы, находящиеся в Узбекистане, широко распространены гипсоносные сероземы и серо-бурые почвы. Центральная Фергана занята разнообразными гидроморфными почвами в разной степени засоленными и солончаками.

Гипсоносные сероземы типичные и светлые распространены на нижних частях склонов окружающих долину гор на элювиях известняков, сланцев и песчаников, на кольцевых адырах и подгорных покатостях на щебневато-галечниково-суглинистых и щебневато-мелкоземистых, валунно-галечниковых пролювиальных и пролювиально-делювиальных мелкоземистых отложениях и реже на конгломератах¹. Отличительной чертой этих почв является наличие гипсоносного горизонта мощностью 40–50 см и более, который залегает на различной глубине, но чаще с 30–70 см. Он состоит из гетерогенных прослоек отличающихся между собой формами кристаллов гипса. Подстилающие породы также содержат разное количество гипса.

Гипсоносные сероземы слабо- и среднесолончаковатые. Содержание гипса в почвенной части профиля изменяется от долей процента до 9–10%, а в гипсоносной от 14 до 80%. Максимум карбонатов (7–10%) приходится на надгипсоносный слой, а в гипсоносном их содержание минимальное (0,41–4,5%).

Территория распространения серо-бурых гипсоносных почв в Ферганской долине по гипсометрическому уровню находится в поясе сероземов. Однако, исключительная сухость климата, высокие температуры, очень часто дующие с запада сильные ветры не благоприятствуют протеканию почвообразования по сероземному типу. Биологические процессы здесь сильно подавлены. Растительность изрежена и представлена единичными кустиками полыни и солянок. Мелкоземистый покров имеет незначительную мощность. Для серо-бурых гипсоносных почв Ферганы свойственны галечниковый покров и слаботрепещиноватая пористая корка с гипсо-карбонатными натеками на нижней части. Буровато-коричневый плотнокомковатый горизонт слабо выражен. Нередко гипсоносный горизонт из мучнисто-мелкозернистого или шестоватого гипса начинается сразу под галькой. Шестоватая форма ноздревато-пористая, рыхлая, обычно залегает ниже и представлена вертикально сросшимся и переплетенными удлиненно-волокнистыми (игольчатыми) кристаллами. Прослойки и линзы мучнистого и мелкокристаллического гипса имеют чаще всего плотное сложение, а иногда сцементированы. Содержание гипса варьирует как по профилю почвы, так и в пространстве от очень низкого до высокого уровня (до 98%). CO₂ карбонатов в собственно-почвенной части профиля почвы достигает 3–8%, а в гипсоносной

¹ Исаков В.Ю. Свойства арзыковых почв Центральной Ферганы. – Ташкент: РЦНГИ «Узинформагропром», – 1991.

не превышает 3–4%. Серо-бурые гипсоносные почвы в большинстве случаев подвержены засолению с поверхности¹.

Площадь адырных земель по долине превышает 297 тыс. га, большая их часть представлена элювиально-аккумулятивными гипсоносными почвами. Научные основы освоения и орошения таких почв очень слабо разработаны, поэтому на освоенных почвах сильно развиваются процессы не только ирригационной эрозии, но и суффозионно-карстовые явления, что выводит значительные площади их из строя. Посевы хлопчатника и других влаголюбивых культур на почвах адыров не желательны, так как интенсивный режим орошения усиливает эрозию и ускоряет вывод земель из оборота. Во-вторых, использование адырных почв не по назначению искажает потенциальные их возможности. Территорию адыров следует целиком отвести под засухоустойчивые культуры, под сады и виноградники при обязательном применении прогрессивного капельного способа орошения.

Центральная и западная часть собственно Ферганской долины расположена в пределах пустынной зоны, а восточная — в сероземном поясе. В западной пустынной части территории выделяются в основном орошаемые луговые почвы. Подчиненное распространение имеют пустынно-песчаные и такыровидные почвы. На низких частях наклонных пространств, на адырных окаймлениях и древних останцовых поднятиях развиты серо-бурые почвы, освоенные лишь местами. В восточной полупустынной зоне в зависимости от высотного положения местности сформированы светлые, типичные и темные сероземы, на большей части орошаемые, а на более высокогорной части долины — коричневые и буро-коричневые почвы. В межадырных, заадырных понижениях и в пределах собственной долины (низменной равнины) развиты орошаемые гидроморфные и полугидроморфные почвы.

Восточная полупустынная часть Ферганской долины более благоприятна для ведения сельского хозяйства. В горных местностях и подгорных наклонных равнинах развито садоводство. На нижних равнинных частях подгорные покатости, адыры и приадырные шлейфы; территории успешно выращивают хлопчатник, зерновые, овощные, бахчевые и другие культуры. Здесь выделяется район сероземно-оазисных почв с подрайонами старого и нового орошения. Почвы старого орошения — типичные и светлые сероземы, преимущественно суглинистого механического состава с характерным мощным агроирригационным горизонтом развиты в Сохском, Маргилан-Андижанском, Наманган-Учкурганском, Чустском районах. Почвы нового орошения — маломощные светлые сероземы на галечниках, лессовидных суглинках и песках. Ими заняты подгорные покатости, адыры и приадырные шлейфы. Здесь сильно развита ирригационная эрозия.

¹ Исаков В. Ю. Засоленные почвы Ферганской долины // Вестник Туранской академии наук. – 2016, – № 4.

Следующий почвенно-мелиоративный район сероземного пояса — район гидроморфных почв — делится на два подрайона. Первый — Восточно-Ферганский с лугово-оазисными и болотно-лугово-оазисными почвами суглинистого и глинистого механического состава, незасоленные, но частично заболоченные, с пресными грунтовыми водами на глубине 0,5–2 м, второй — Шариханский оазис с засоленными в разной степени старо- и новорошаемыми луговыми и болотно-луговыми почвами с разносуглинистым механическим составом, со слабо- и среднеминерализованными грунтовыми водами на глубине 1,5–3,0 м.

На территории, относящейся к пустынной зоне, выделяются два почвенно-мелиоративных района. Первый район — западный (главным образом Кокандская группа административных районов), с сазовыми лугово-оазисными и болотно-лугово-оазисными почвами, преимущественно со слабо- и средnezасоленными легкорастворимыми солями, легкосуглинистого механического состава. Грунтовые воды здесь залегают на глубине 1–3 м и имеют слабую и среднюю степени минерализации. Эколого-мелиоративное состояние земель этого района является относительно удовлетворительным. Почвы плодородные. При высокой агротехнике и промывном режиме орошения сельскохозяйственные культуры дают хорошие урожаи.

Наиболее сложным в почвенном, эколого-мелиоративном отношении является второй район — территория собственно Центральной Ферганы, которая в прошлом служила приемником сточных вод и была занята непроходимыми тугаями, болотами и озерами, песчаными массивами. Широкое распространение имели типичные солончаки¹. Вся эта территория практически освоена во второй половине прошлого столетия.

Огромная территория занятая типичными солончаками в комплексе с луговыми солончаками и засоленными в разной степени почвами ныне находится в границах орошаемого земледелия. Под влиянием освоенческих мелиоративных работ и промывного режима орошения направление естественного почвообразования изменилось в сторону оазисного почвообразования. Появились новые оазисные почвы своеобразными химическими, физическими свойствами и особенностями². Однако, на большей части территории бывшие солончаки за долгие годы освоения и использования практически не поддавались мелиоративным воздействиям. Причины неподатливости к улучшению этих трудно осваиваемых, тяжело мелиорируемых почв кроется в специфике строения их профиля. Послед-

¹ Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. I - II. – Москва: Изд. АН СССР. – 1946. – 47; Панков М. А. Почвы Ферганской области. • В кн.: Почвы Узбекской ССР. Т. II. – Ташкент: Изд. АН УзССР, – 1957.

² Исаков В. Ю. Засоленные почвы Ферганской долины // Вестник Туранской академии наук. – 2016, – № 4.

ний содержит кроме воднорастворимых солей огромное количество гипса и карбонатов. Общее их содержание доходит до 70–90%. Профиль изобилен карбонатно-гипсовыми образованиями, которые представлены отдельными горизонтами, прослоями, линзами, плотными корками, друзами, конкрециями. Главная масса гипса и карбонатов принесена и отложена грунтовыми водами. Ими заполнены (закупорены) практически все поры и трещины, при этом плотность горизонтов сильно увеличена (до 1,7–1,8 г/см³), иногда окарбонатенно-загипсованные прослои сцементированы, общая порозность уменьшена до 30% и меньше. Центральная часть долины, которая характеризуется очень и очень слабым естественным оттоком, являлась в течение многих веков аккумулятором как легкорастворимых, так и средне и слабо растворимых солей. В зависимости от химического состава солей и расположения солевых образований в почво-грунтах, здесь сформированы самые разнообразные засоленные почвы. Так, в средних частях конусов выносов многочисленных горных речек, которыми образована подгорно-веерная равнина, распространены шоховые (Hardpan) почвы. Периферия конусов выносов отличается широким развитием загипсованно-окарбонатенных засоленных — арзыково-солончаковых почв. Озерно-пролювиальная и древнеаллювиальная равнины заняты арзыковыми солончаками, арзыково-солончаковыми и лугово-солончаковыми почвами, луговыми и типичными солончаками. Последнее также имеет распространение в равнинно-долинной части¹.

На нижних террасах рек, на перифериях конусов выноса и межконусных понижениях ныне развиваются орошаемые луговые засоленные почвы. В результате промывного режима орошения большая часть воднорастворимых солей из профиля почвы вымыты, однако солей еще много. Тяжелые грунты с прослоями песков и супеси, большие скопления гипса и карбонатов и связанное с ними плотное сложение препятствует полному рассолению.

Солончаки, когда-то занимавшие огромные пространства, ныне имеют сильно ограниченное распространение. Их можно наблюдать на отрицательных формах рельефа среди песчаных массивов, встречаются они небольшими участками среди орошаемых полей озерно-пролювиальной и древнеаллювиальной равнин. Иногда появляются в комплексе с сильнозасоленными почвами на орошаемых полях, как результат вторичного засоления.

В части Ферганской долины, относящейся к Узбекистану, ныне орошается более 900 тыс. га земель, из них 325 тыс. га засолены легкорастворимыми солями. Площадь же шоховых, арзыковых и гипсоносных средне- и сильно-засоленных

¹ Исақов В. Ю., Мирзаев У. Б. Марказий Фарғонада шаклланган арзқли тупроқларнинг хоссалари ва уларнинг инсон омил таъсирида ўзгаришлари. – Ташкент: “Фан”, – 2009; Бартольд В. В. Сочинения. – Т. 1. – М.: Наука, – 1965.

орошаемых и новоосвоенных почв, относящиеся к категории трудно мелиорируемых почв в Центральной Фергане составляет около 150 тыс. га.

Все окарбоначенно-загипсованные почвы Центральной Ферганы сгруппированы в отдельную группу и дополнена «Классификация засоленных почв» новой группой «арзыково-солончаковых почв»¹.

Почвам, относящиеся к этой группе, свойственно разнообразное сочетание гипсоносных, карбонатно-гипсовых, карбонатных и засоленных легкорастворимыми солями горизонтов и разное содержание гипса, карбонатов и легкорастворимых солей. Они отличаются также по мощности горизонтов и по глубине их залегания. Почвы арзыково-солончаковой группы имеют довольно четко разграниченный геохимический профиль: нижняя часть представлена шохом — карбонатами кальция и магния, средняя арзыковыми (карбонатно-гипсовыми) образованиями и верхняя собственно почвой (алюмо-силикатно-перегнойная) с небольшим содержанием смеси карбонатов и гипса. Такое строение профиля почв отражает собой известную закономерность, согласно которой наиболее труднорастворимые в воде соединения — карбонаты — раньше всех выпадают из почвенного раствора в твердую фазу почво-грунта и поэтому скопления залегают глубже других соединений. Гипс как более растворимая соль по сравнению с карбонатами выпадает из раствора позже и поэтому его скопления располагается над карбонатным слоем. Легкорастворимые же соли в растворах восходящими капиллярными токами поднимаются до самой поверхности почв, где по мере насыщения в результате испарения растворов осаждаются и аккумулируются.

Верхний — надарзыковый слой в мелко- и глубоко-арзыковых почвах представлен собственно-почвенной (алюмо-силикатно-перегнойная), а в поверхностно-арзыковых относительно рыхлым арзыком. Арзыковый слой имеет мощность от 20–30 см до 2–3 м и состоит из 2–3 и более прослоев. Выделения арзыка, в верхней части слоя мелкие и рыхлые, с глубиной укрупняются, уплотняются и цементируются. Арзыковым прослойкам характерно рыхлое, плотное, фрагментарно- и монолитно-сцементированное сложение. Шоховой слой состоит из сильноокарбоначенных плотных, часто сцементированных прослоев.

Арзыковый слой содержит 31–40% CaO, 1,5–5% MgO, 9–16% CO₂, 9–53% SO₄, 0,3–1% Fe₂O₃, 0,4–2% SiO₂ и шоховой — 17–32% CaO, 3–12% MgO, 13–19% CO₂, 0,2–5% SO₄, 0,4–1% Fe₂O₃, 0,3–1% SiO₂. Арзык, в основном, состоит из гипса (до 70%), кальцита (10–35%), доломита (3–8%), магнезита (1–4%), а шох отличается незначительным количеством гипса (<5%) и максимальным содержанием кальцита (20–55%), доломита (5–15%) и магнезита (1,5–7%).

¹ Панков М. А. Почвы Ферганской области. В кн.: Почвы Узбекской ССР. Т. II. – Ташкент: Изд. АН УзССР, – 1957.

В арзыховых прослоях почв иногда встречаются сульфаты магния и они входят в парагенезе с гипсом. Им также с сульфатом натрия образованы двойные соли. Часть солей магния находится в кристаллах гипса, или они окружены гипсовыми пленками.

Арзыховые почвы характеризуются сульфатным типом засоления. В новоосвоенных почвах весь их профиль засолен. В условиях длительного орошения надарзыховый слой промыт, а в арзыховом — содержание солей сверху вниз плавно уменьшается. В составе солей преобладают сульфаты кальция, магния и натрия. Содержание хлора при слабой и средней степенях засоления составляет 0,25–0,87 мг. экв на 100 г почвы, а при сильной 2,45–4,31 мг. экв.

Сумма поглощенных оснований в поверхностно-арзыховых почвах равна 3,2–3,5 мг. экв на 100 г почвы, в мелкоарзыховых 4,0–6,6 мг. экв и очень редко 7–9 мг. экв. Поглощенный магний составляет 32–66%, кальций 14,8–42,7%, натрий 7,5–20,1% и калий 4,5–8,8% от суммы поглощенных оснований. Эти почвы содержат 0,21–0,35% гумуса, 0,012–0,015% общего азота, 0,07% валового фосфора и 1,21% валового калия. В мелкоарзыховых и глубоко-арзыховых почвах содержание гумуса 1–1,5%, валового фосфора 0,11–0,16% и калия 1,14–1,52%. По содержанию подвижных форм фосфора они не обеспеченные, а обменным калием слабо- и среднеобеспечены.

Луговые арзыховые почвы характерны и для песчаных массивов Центральной Ферганы. Отличительная черта их — белесая как мел окраска, сильная омергелеванность, очень высокая плотность всего профиля почвы, гетерогенность по содержанию гипса и равномерное увеличение карбонатов вниз. Максимум карбонатов смещен к средней части профиля — арзыховому слою, с чем связана чрезвычайно высокая плотность. Содержание гипса в арзыховых горизонтах колеблется в пределах 12–40%, карбонатов — 28–47%, в шоховых — 0,7–8,7% и 40–52% соответственно. Содержание кальцита равно 12–35%, доломита — 8,4–16,1%, магнезита — 0,2–3,0%. Количество сухого остатка в солончаках достигает 5,3%, а в профиле колеблется от 1,1 до 2%. В составе катионов солевого горизонта преобладает натрий, а в профиле — кальций, количество магния повышенное. Химизм засоления — сульфатный. Содержание перегноя не превышает 0,54–0,80%, азота — 0,022–0,034%. Количество валового фосфора равно 0,074–0,11% и валового калия 0,74–1,54%. Гипсоносно-арзыховые солончаки озерно-пролювиальной равнины характеризуются поэтажно расположенными солевыми, гипсоносными, арзыховыми и шоховыми слоями. В пределах песчаных массивов их сменяют арзыховые солончаки, отличающиеся отсутствием гипсоносного горизонта.

На арзыхово-солончаковых (окарбоначенно-гипсоносных засоленных) почвах Центральной Ферганы, относящихся к категории трудномелиорируемых, на-

учные принципы рассоления и повышения плодородия разработаны не на должном уровне, поэтому урожайность хлопчатника здесь не превышает 10–20 ц/га. На землях, засоленных обычными легкорастворимыми солями, площадь которых более 325 тыс. га, урожайность хлопчатника не превышает 18–22 ц/га, и эта площадь нуждается в коренных рассолительных мелиорациях. Ибо здесь из-за низкого уровня земледелия теряется 20–50% сельхозпродукции.

При изучении свойств и особенностей луговых арзыково-солончаковых почв Центральной Ферганы, а также многолетних наблюдениях за состоянием посевов хлопчатника и других культур в хозяйствах Улугнарского, Язъяванского и Риштанского районов выявлены причины трудной мелиорируемости этих почв, низкой урожайности культур и намечены оптимальные агромелиоративные мероприятия по повышению их плодородия. Центральная Фергана, представленная перифериями конусов выноса, межконусными понижениями, озерно-пролювиальной равниной и песчаными массивами, характеризуется сложным мелиоративным состоянием земель, что обусловлено природно-историческими факторами — геоморфологическим устройством, литологическим строением, гидрогеохимическими и почвенными процессами. Так, отложения конусов выноса р. Маргилан-Исфайрам, Шарихан, Акбура-Араван наложены друг на друга и слиты, в их литологическом строении участвуют переслаивающиеся суглинки и глины с прослоями супеси и песка. Для обширного понижения, расположенного между конусами Соха и Шахмардана, характерны мощные, почти однородные тяжелые сильнозасоленные, загипсованные и окарбоначенные грунты. Озерно-пролювиальная равнина представлена плоской территорией, вытянутой в западном направлении, начиная с Шариханского прорыва, и охватывающей Сарыксуйское, Дамкульское и др. понижения. Она сложена аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, озерными, болотными и эоловыми отложениями с различным механическим составом. Центральная часть региона занята песками. Под барханами и грядами, иногда и в профиле равнинных закрепленных песков имеются конкреционные песчаные образования рудяково-железистой окраски, размерами от долей сантиметра до 1–2 м, на карбонатном и карбонатно-гипсовом цементе, слияние которых нередко образует сплошной каменно-плотный горизонт, с объемной массой 1,9–2,1 г/см³. Приподнятые участки в пределах песчаных массивов сложены на большую глубину сильнозасоленными загипсованно-окарбоначенными глинами. По понижениям наблюдаются небольшие озера-шоры и болота.

Почвенный покров районов распространения арзыково-солончаковых почв характеризуется высокой комплексностью по глубине залегания и мощности арзыковых горизонтов, характеру сложения и водно-физическими константами, содержанию гипса, карбонатов и легкорастворимых солей. На что пока мало

внимания обращают в проектно-исследовательских работах, а они имеют важное мелиоративное значение. Контуры по этим показателям не всегда можно выделить при почвенных съемках масштаба 1:10000.

Арзыково-солончаковые почвы засолены вплоть до солончака. Основная масса легкорастворимых солей приурочена к поверхностным и средним арзыковым горизонтам. Нижние, шоховые горизонты, вблизи грунтовых вод, с минерализацией под орошаемыми почвами 3–6 г/л и под целинными 20–50 г/л имеют слабое засоление. Общие запасы солей в трехметровой их толще колеблются от 357,2 т/га в орошаемых почвах до 716,5 т/га в целинных, в том числе количество токсичных солей — от 134,1 до 254,2 т/га, хлора — от 6 до 70,4 т/га, магния — от 10,3 до 16,0 т/га и натрия — от 36,7 до 105,2 т/га. Часть легкорастворимых солей заключена в кристаллы гипса и арзыка и представляет потенциальную опасность засоления. Гипс и карбонатно-гипсовые образования малорастворимы в воде, растворимость крупных кристаллов еще меньше. Поэтому связанные соли в почвенный раствор даже при усиленных промывках переходят очень медленно. При этом часть гипса переходит в вытяжку и повышает содержание плотного остатка.

Слаборастворимые токсичные соли (гипс и карбонаты кальция и магния), не будучи физиологически опасными, при высоком содержании так же, как и легкорастворимые соли, представляют мелиоративную проблему. Накопление гипса и карбонатов в почвах сопровождается уменьшением свободных пор и увеличением плотности, с цементированием горизонтов в слитую массу. При этом изменение водно-физических параметров почвы зависит от глубины залегания и сложения арзыковых горизонтов. Так, объемная масса при поверхностном залегании и мелких формах арзыка составляет 1,31–1,41 г/см³, порозность — 42–47%, при залегании в средней и нижней частях профиля и крупных и плотных формах — 1,6–1,71 г/см³ и 31–40% соответственно.

При сильной цементации горизонта объемная масса увеличивается до 1,91–2,07 г/см³, а порозность снижается до 25,09–23,3%. Полевая влагоемкость варьирует в пределах 15–22%. Коэффициент фильтрации в зависимости от характера цементаций колеблется от 0,0017 до 0,3 м/сутки. Перечисленные свойства сильно ухудшают качество почв и их плодородие, а также условия обработки и осуществление поливов. Тяжелый механический состав почв и грунтов со сплошными арзыковыми горизонтами сильно осложняет борьбу с засолением. Промывки, несмотря на хорошо развитую КДС, идут медленно, вода застаивается, почва заплывает, появляются недоокисленные от недостатка кислорода токсичные соединения. Недоучет в проектных разработках перечисленных литологических особенностей и мелиоративных качеств шохово-арзыковых почв заранее обрекает на неудачу. Например, закрытый горизонтальный дренаж, построенный на пл. 500 га в условиях шохово-арзыковых почв Бешарыкского района, практически

не работает. Большие площади, занятые арзиковыми почвами в Язьяванском и Ахунбабаевском районах, в течение длительного времени не промыты, образован очень пестрый почвенный покров. Аналогичная ситуация наблюдается в Задарьинском и Улугнарском районах.

Еще одна мелиоративная особенность почв Центральной Ферганы связана с особенностями планировочно-освоенческого выравнивания. Так, для рельефа Центральной Ферганы до их освоения были характерны кочки и бугорки, увалы и холмы, гряды и барханы, западинки, ложбины и другие формы микро- и мезорельефа. В результате планировки срезали поверхности повышения и заполнили ими понижения. Поверхность земли лишилась естественного почвенного покрова, возникла сильная пестрота в количественном и качественном составе дневных горизонтов. На повышениях обнажились неплодородные плотные и водонепроницаемые грунты. Поверхности понижений погребены. Широко распространенные болота и озера действием мощной системы КДС осушены. Их отложения в виде тонкослоистых прослоек и линз, мощных слоев ила и глея с сильным запахом H_2S остались под насыпными грунтами. Глеевые горизонты также обнаружены под плотными арзиковыми горизонтами.

Пахотные горизонты почв новой зоны освоения образованы за счет насыпного барханного песка, насыпной смеси песка и суглинка, насыпного суглинка и глины, механического разрыхления плотного гипсоносного и арзиконосного слоев. Мощность горизонта в последнем случае не превышает 15–20 см, в остальных — составляет 30–35 см. Всем почвам свойственны плохие или неудовлетворительные водно-физические свойства (объемная масса — 1,4–2,1 г/см³, порозность — 24–40%, коэффициент фильтрации — 0,01–0,001 м/сут, НВ — 13–19%). Насыпные грунты почти повсеместно содержат до 20–30% гипса и арзика. Песчанистые горизонты содержат 0,4–1,5% легкорастворимых солей, суглинистые — 2–5%.

Погребенные перегнойные горизонты имеют окраску от сероватой до коричневатой, сильнозасолены и загипсированы. Арзиконосная часть профиля почво-грунта имеет прослой песка, иногда довольно мощные, тоже гипсированы, арзиконосны, но намного меньшей плотности. В период поливов и промывок эти горизонты насыщаются водой и становятся водоносными, что отрицательно влияет на водно-солевой режим орошаемого поля.

На местах вогнутых форм погребенного рельефа воды застаиваются, нижние тяжелые грунты раскисают, в них происходят процессы сульфат редуции, и грунты становятся практически непроницаемыми. Погребенные, иловые и глеевые отложения бывших болот и озер также являются непроницаемым экраном как для инфильтрационных вод, так и для растущих корней. Аналогичную роль играют арзиковосные и гипсоносные горизонты погребенных солончаков. Минерализация грунтовых вод, несмотря на ежегодные промывки грузными нормами,

в указанных условиях остается высокой — 40–70 г/л. Почвы этих участков очень трудно поддаются мелиоративному улучшению. Обнаженные цементированные гипсоносные и арзыконозные горизонты почво-грунта очень слабо поддаются мелиоративным воздействиям.

Исследования по изучению агропроизводственных свойств арзыково-солончаковых почв и повышению их плодородия проведены на орошаемых дуговых поверхностно-арзыковых и орошаемых дуговых мелкоарзыковых почвах Улугнарского района. Результаты исследования показывают (таблица 1), что рост и развитие корневой системы хлопчатника зависят от глубины залегания арзыкового горизонта с большой плотности и низкой порозностью аэрации. Арзыковые горизонты для корневой системы являются механическим препятствием. Главный корень хлопчатника, дойдя до арзыка, прекращает рост, отмирает или же подвергается патологическим изменениям, а боковые корни простираются по поверхности арзыкового горизонта. Площадь питания корневой системы в арзыковых почвах ограничена, что сказывается и на развитии надземной части растений. Кусты хлопчатника становятся низкорослыми, уменьшается число коробочек на них, ухудшается качество волокна.

В почвах, где арзыковый горизонт с объёмной массой 2,01 г/см³ и порозностью аэрации 26%, залегает на глубине 15–25 см, главный корень хлопчатника в конце вегетации имел длину 11–15 см, а высота главного стебля достигала всего лишь 26–36 см. При этом урожайность составила 5,8 ц/га. Длина главного корня хлопчатника при глубине залегания арзыка (объёмная масса 1,35 г/см³, порозность аэрации 46%) ниже 26–45 см составила 14–34 см, высота главного стебля — 80–90 см, урожайность хлопчатника превысила 9,1 ц/га.

Исследования показали положительное влияние глубокого рыхления на рост и развитие хлопчатника. Высота главного стебля хлопчатника на делянках с глубоким рыхлением (60–70 см) была на 2–7 см выше, чем на делянках без рыхления. Наблюдалось некоторое увеличение количества симподиальных ветвей, числа и средней массы коробочек. Урожай хлопка-сырца был на 1,2 и 6,7 ц/га больше, чем на участках без рыхления (таблица 2).

Арзыковые почвы очень отзывчивы к внесению органических веществ. Наибольший урожай хлопка-сырца (10,8 и 18,1 ц/га) был получен в вариантах, где перед рыхлением внесли 20 т/га навоза. Такой урожай сырца в вариантах с одним рыхлением получен только на третий год рыхления. Здесь же были высоки и все морфологические показатели хлопчатника.

Высокая продуктивность хлопчатника на удобренных навозом вариантах, как и низкая на вариантах с обычной вспашкой, была стабильная и все последующие годы наблюдения. Несмотря на положительное влияние глубокого рыхления и навоза, состояние хлопчатника все еще остается угнетенным. Дальнейшее увеличение урожайности связано с изменениями сложения горизонтов почв.

Таблица 1. – Содержание легкорастворимых солей, гипса и карбонатов

Глубина, см	Сухой остаток, %	Токсичные соли, %	Мг. экв. на 100 г почвы						Гипс, %	Карбонаты, %
			HCO ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Разрез 14. Орошаемая луговая арзыково-солончаковая почва										
0–38	1,38	0,35	0,29	0,36	19,27	13,75	4,76	1,74	4,05	12,61
38–80	1,29	0,28	0,19	0,87	17,64	14,75	2,79	1,70	53,68	23,31
80–110	1,27	0,34	0,19	0,84	18,21	14,00	3,04	2,33	32,07	29,53
110–134	1,27	0,26	0,14	0,73	17,25	14,50	2,22	1,84	42,46	23,22
134–165	1,25	0,22	0,19	0,61	17,11	14,50	1,97	1,44	28,73	24,38
165–180	1,22	0,20	0,19	0,59	16,71	14,50	1,97	1,12	60,19	19,65
Разрез 12. Гипсоносно-арзыковский солончак										
0–3	5,05	4,39	0,20	42,87	38,90	15,50	16,77	49,14	54,09	7,15
3–18	2,01	1,27	0,24	9,85	20,50	14,50	5,18	14,01	46,94	12,95
19–41	2,51	1,49	0,24	16,00	18,50	16,40	5,18	17,23	68,02	19,40
41–65	1,23	0,34	0,19	2,47	16,52	14,00	2,22	2,98	52,16	21,31
65–88	1,30	0,29	0,14	2,22	16,99	14,50	1,72	2,62	50,46	26,85
88–105	1,26	0,31	0,29	2,19	16,31	14,00	1,97	2,81	48,31	25,94
105–138	1,49	0,37	0,19	2,95	16,99	14,50	2,22	3,42	44,39	24,54
138–165	1,49	0,36	0,24	2,70	17,99	14,25	2,22	3,29	27,17	28,22
165–195	1,47	0,39	0,29	2,95	17,50	14,25	2,38	3,93	18,93	33,49
195–220	1,26	0,44	0,24	2,47	16,00	11,75	2,46	4,19	21,88	34,03
Разрез 16. Светлый серозем гипсоносный										
0–3	0,10	0,03	0,39	0,03	1,02	0,85	отс.	0,53	0,97	11,73
3–14	0,08	0,02	0,33	0,06	0,73	0,75		0,37	0,96	19,83
14–24	0,14	0,03	0,20	0,06	1,38	1,25		0,39	1,45	21,94
24–90	0,57	0,02	0,13	0,06	7,15	7,15	0,16	0,17	87,37	7,69
90–200	0,46	0,02	0,10	0,03	5,81	5,65	0,16	0,17	76,34	10,50
Разрез 162 Типичный серозем гипсоносный										
0–5	0,08	0,01	0,11	0,09	0,88	0,85	0,16	0,17	0,14	15,98
5–28	0,10	0,02	0,11	0,20	1,00	0,95	0,25	0,12	0,22	19,03
28–75	0,11	0,08	0,15	0,79	1,00	0,70	0,25	0,99	0,44	21,92
75–100	0,67	0,17	0,12	0,59	9,52	7,64	1,48	1,13	18,93	17,67
130–150	1,14	0,22	0,10	0,39	15,00	12,10	1,73	1,66	52,38	12,71
150–200	1,08	0,22	0,11	0,59	14,50	11,80	1,98	1,42	12,15	12,50
Разрез 111. Серо-бурая гипсоносная почва										
0–8	0,20	0,07	0,29	0,25	2,17	1,60	0,33	0,79	2,07	18,14
8–53	1,06	0,23	0,11	0,20	15,72	12,08	0,41	3,04	94,20	5,66

Таблица 2. – Рост и урожайность хлопчатника на арзыково-солончаковых почвах в зависимости от глубины арзыкового горизонта и применяемых агропромов

Вариант	Верхняя глубина залегания арзыкового горизонта, см	Густота стояния растений, тыс. шт/га	Высота главного стебля, см	Количество симподиальных ветвей	Количество плодоземелетов		Вес одной корочки, г	Урожайность, ц/га
					общее	в т. ч. корочки		
Орошаемая луговая поверхностно-арзыковая почва								
Обычная вспашка	12–25	147,1	29,8	0,2	2,9	1,36	2,9	5,8
Обычная вспашка + глубокое рыхление	12–25	154,3	36,7	0,5	3,9	1,6	3,0	7,3
20 т/га навоза + обычная вспашка + глубокое рыхление	12–25	130,7	39,0	1,0	5,1	2,6	3,2	10,8
Орошаемая луговая мелко-арзыковая почва								
Обычная вспашка	26–45	111,7	87,4	3,9	11,4	2,37	3,47	9,1
Обычная вспашка + глубокое рыхление	26–45	117,2	89,9	4,9	13,0	3,2	4,1	15,8
20 т/га навоза + обычная вспашка + глубокое рыхление	26–45	109,2	91,5	5,5	14,7	3,9	4,4	18,1

Повторное изучение морфологии и свойств почв опытных полей через три и семь лет после проведения опыта, показало, что сложение профилей почв без рыхления оставалось почти таким же, как и раньше, плотным, сцементированным. В пахотном горизонте глубоко разрыхленных почв в первые годы после их рыхления было много обломков арзыка, на четвертом году обломков стало намного

меньше, и через семь лет они обнаруживались очень редко. Ниже до глубины 70 см наблюдался след рыхления в виде вертикальной полосы — щели, заполненной рыхлым обломочным материалом, который в последующие годы уплотнился. Но прежнюю сильную сплошную цементацию арзыковых горизонтов не обнаружили; она приобрела более фрагментарный характер. Плотность и в середине межщелевой полосы стала относительно умеренной. Здесь наблюдалось (особенно при повторных исследованиях) заметное количество проникших корней, улучшилось состояние растений, увеличился их урожай. Так, урожайность хлопчатника на третий год после рыхления на поверхностно-арзыковых почвах составила 9,5 ц/га, на четвертый — 12,6, на седьмой — 15,2 ц/га. На мелкоарзыковых почвах за семь лет она возросла с 15,8 до 20,6 ц/га.

Арзыково-солончаковые почвы отличаются низким содержанием органического вещества и питательных элементов. Гумуса в пахотном слое при поверхностном залегании арзыка всего лишь 0,2–0,5%, по наличию подвижных форм азота и фосфора эти почвы относятся к необеспеченным, подвижного калия — к слабо обеспеченным. Пахотные горизонты почв при залегании арзыкового горизонта на глубине 30–60 см содержат около 1% гумуса и по содержанию питательных элементов относятся к слабообеспеченным. Основной компонент арзыка — гипс — превращает внесенный фосфор в труднорастворимую недоступную для растений форму, а также уменьшает отношение калия к кальцию. В итоге нарушается сбалансированность питательных элементов. Результаты исследования показывают, что арзыковые почвы не способны обеспечивать основными питательными элементами сельскохозяйственные культуры.

Установлено, что на орошаемых луговых почвах с различной глубиной залегания арзыконосного горизонта 200–250 кг/га азота является оптимальной нормой. На поверхностно-арзыковых почвах при соотношении N: P: K 1:1,0:0,6, на мелкоарзыковых — 1:0,8:0,6; на почвах без арзыкового горизонта — 1:0,8 (0,64):0,6 (0,5). Средняя урожайность хлопчатника за три года проведения опыта соответственно составила 15,5, 22,0 и 34,5 ц/га.

Применение на арзыково-солончаковых почвах Центральной Ферганы отдельных приемов мелиорации желаемого эффекта не дает. Успех заключен в комплексном и систематическом применении мелиоративных мероприятий. На полевых опытах проведенных на арзыковых солончаках Риштанского района были учтены приёмы гидро-, агро- и фитомелиорации. Опыт включал следующие варианты:

0. Контроль. Обычная вспашка + промывка через культуры риса со сплошным затоплением.

1. Обычная вспашка + многократное рыхление на глубину 80 см + боковая промывка через культуры риса.

2. 15 т/га навоза + 15 т/га лигнина + обычная вспашка + многократное рыхление на глубину 80 см + боковая промывка через культуры риса.

3. 30 т/га навоза + обычная вспашка + многократное рыхление на глубину 80 см + боковая промывка через культуры риса.

Поле, где был заложен опыт, включен в план сельхоз- оборота 10 лет назад. Почва опытного поля за весь прошедший период не поддавалась освоению и улучшению, оставалась сильно засоленной, хотя ежегодно проводили промывку, даже на фоне глубокого рыхления и внесения навоза. Культуры-освоители, разные травосмеси также не росли.

Наши исследования проводились в трехкратной повторности на фоне мелкого загущенного временного и глубокого постоянного дренажа. Междреннее расстояние временных дрен 30 м, глубина — 1–1,2 м, глубина постоянных дрен — 3–4 м.

Водоподача начата 25 мая из центральных полос, спустя 15 дней началось затопление боковых придренных полос.

Водоподача прекращена 20 сентября. Почва на делянках в течение 105–220 дней оставалась под водой, почвы центральных полос находились под водой на 15 дней дольше, чем почвы придренных полос.

Результаты исследования показывают, что навоз в количестве 30 т/га на общем принятом фоне способствовал лучшему росту и развитию риса, а также накоплению урожая. Сочетание навоза (15 т/га) с лигнином (15 т/га) также создает хорошие условия для развития риса, но по урожайности растения этого варианта значительно уступили предыдущему. Урожайность риса составила: на контроле — 37,8 ц/га, в 1 варианте — 43,7 ц/га, во 2–50,3 ц/га, в 3–61,3 ц/га.

Таким образом, низкое плодородие почв Центральной Ферганы объясняется исключительной бедностью органикой и доступными формами питательных элементов, нарушением сбалансированности последних, высокой плотностью и низкой водопроницаемостью арзыконосных горизонтов. Свообразие химических и водно-физических свойств арзыково-солончаковых почв определяет необходимость особой технологии освоения, мелиоративного улучшения и использования. В выполнении почвенно-мелиоративных исследований арзыково-солончаковые почвы нужно выделять в отдельную мелиоративную группу. При составлении техно-рабочих проектов освоения и мелиоративного улучшения земель следует проводить детальную почвенную съёмку масштаба 1:2000–1:5000, обратив особое внимание на глубину залегания, характер сложения и мощность надарзыкового и арзыконосного слоев, на содержание компонентов арзыка. Определяющее значение при оценке и прогнозировании мелиоративного состояния земель приобретает исходное состояние рельефа и его изменения при планировочных работах, поэтому их следует учесть при составлении рабочих проектов.

Для арзыково-солончаковых почв особое значение имеет правильный выбор и размещение культур, применение специальных инженерных и агромелиоративных приемов.

В комплексе мелиоративных мероприятии особое внимание следует уделять глубокому рыхлению, которому должно обязательно предшествовать внесение навоза в количестве 20–40 т/га, сидерация земель, затем посевы многолетних трав, рекомендуемая культура — хлопчатник, в севообороте с короткой ротацией.

*Matveeva Ludmila Ivanovna,
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),
Ph. D., assistant professor of theory and automation
of metallurgical processes and furnaces*

*Yarzhemsky Anatoly Serafimovich,
North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),
Ph. D., Professor of Theory and automation
of metallurgical processes and furnaces,*

*Khadzaragova Elena Alexandrovna,
North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),
Ph. D., Head of the Department of Theory and automation
of metallurgical processes and furnaces,
E-mail: hadzaragova@mail.ru*

*Bagaeva Madina Eduardovna,
North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),
Ph. D., assistant professor of theory and automation
of metallurgical processes and furnaces*

Chapter 3. Research of the optimization problem of impact machine's structures

*Матвеева Людмила Ивановна,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
к. т.н., доцент кафедры
Теории и автоматизации металлургических процессов и печей,
Яржемский Анатолий Серафимович,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
к. т.н., профессор кафедры
Теории и автоматизации металлургических процессов и печей,*

*Хадзарагова Елена Александровна,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
д. т.н., заведующая кафедрой
Теории и автоматизации металлургических процессов и печей,
Багаева Мадина Эдуардовна,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
к. т.н., доцент кафедры
Теории и автоматизации металлургических процессов и печей*

Глава 3. Исследование задачи оптимизации конструкций машин ударного действия

1. Проектирование машин ударного действия на основе критериев подобия

Совершенствование конструкций пневмоударников является актуальной задачей горного машиностроения на современном этапе. Разработка конструкций новых машин сопряжена с трудностями их проектирования, определения рациональных параметров, оценкой степени технического и экономического совершенства, проведения испытаний опытных образцов, доводкой конструкций до серийного изготовления, включая разработку технологической и технической документации, преодоление маркетинга рыночных отношений.

Для ускорения процесса проектирования новой пневмоударной техники можно применить метод подобия, а в качестве опытной модели использовать уже получившую признание в практике серийную конструкцию. Технические характеристики этой конструкции (модели) уже известны, и их можно использовать в качестве опытных данных.

При разработке типоразмерного ряда пневмоударников можно использовать известные критерии геометрического, кинематического и динамического подобия. Так как параметры пневмоударника определяются площадью бойка F , m ; его ходом S , m ; давлением воздуха p , Па ; массой бойка m , кг , то, вводя соответствующие масштабы $\alpha_F \alpha_p \alpha_s$ и α_m , можно получить при масштабе времени $\alpha_t = 1$ прогнозные значения параметров проектируемого ударника.

Так, энергия его единичного удара, Δ_j

$$A_n = A_m \alpha_F \alpha_p \alpha_s, \quad (1)$$

где индексы n и m относятся соответственно к натуре и модели.

Частота ударов, c

$$n_n = n_m \alpha_s^{\frac{1}{2}} \alpha_m^{\frac{1}{2}} \alpha_F^{\frac{1}{2}} \alpha_p^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Ударная мощность, кВт

$$N_n = N_m \alpha_F^{\frac{3}{2}} \alpha_p^{\frac{3}{2}} \alpha_s^{\frac{1}{2}} \alpha_m^{-\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

Расход воздуха, м³/мин

$$V_n = V_m \alpha_F^{\frac{3}{2}} \alpha_p^{\frac{3}{2}} \alpha_s^{\frac{1}{2}} \alpha_m^{-\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Следует отметить, что масштабные коэффициенты для мощности и расхода воздуха одинаковы, что следует из закона сохранения энергии.

Используем в качестве модели погружной пневмоударник ПП-105-2,2 с простой и надежной схемой воздухораспределения “золотник на поршне” и произведем перевод его параметров на пневмоударники П-200-1 и П-200-2, прогнозируемые характеристики которых приведены в табл. 1 Они рассчитаны по (1)–(4).

Таблица 1. – Сравнительные данные параметров пневмоударников

Наименование параметров	Типы ударников			
	П-200	П-200-1	П-200-2	ДНД-380
Диаметр долота, мм	200	200	200	200
Диаметр цилиндра, мм	148	150	150	150
Масса ударника, кг	19,3	12,8	25,6	–
Частота ударов, с ⁻¹	19	23	23	–
Ударная мощность, кВт	7,9	12,4	34,9	–
Ход ударника, мм	–	110	110	–
Расход воздуха, м ³ /мин	18	31	87,3	31
Давление воздуха, МПа	0,5	0,5	1,0	1,76
Энергия удара, Дж	420	588	1176	–
Отношение N/V	0.439	0.400	0.400	–

Так как геометрический масштаб моделирования $\alpha_l=2$ при переходе на бурение скважин диаметром 200 мм и $\alpha_l=1$, то критерий гомохронности определяет скоростной масштаб $\alpha_v = \alpha_l = 2$. Из критерия Ньютона масштаб массы ударника определяется как $\alpha_m = \alpha_p \alpha_l$.

Сравнение двух проектируемых ударников П-200-1 и П-200-2 с реальным ударником П-200 показывает, что их мощность, то есть отношение $\frac{N}{V}$, примерно на 10% ниже. Это означает, что изменение масс и давления не дает экономических преимуществ новым типам ударников. Исходной конструкцией для расчетов является пневмоударник ПП-105-2,2, который нельзя считать идеальной моделью, поэтому результаты моделирования машин на основе критериев подобия в данном случае носят скорее методический характер, чем конкретная рекомендация образцов, которые имеют определенные ограничения при реализации в системной оценке. Однако простота и доступность метода позволяют надеяться на его применение в области создания новых горных машин. Выполним сравнительный

анализ конструкций, в которых моделью является ударник П-160 В. Параметры сравнения показаны в табл. 2.

Таблица 2. – Сравнительные данные параметров пневмоударников

Наименование характеристик	Модели пневмоударников		
	П-160 В	П-160 В1	П-160 В2
Диаметр скважин, мм	160	160	160
Диаметр ударника, мм	122	122	122
Масса ударника, кг	11,3	11,3	8,0
Ход ударника, мм	115	162	162
Давление воздуха, мПа	1,7	1,7	1,7
Частота ударов, с ⁻¹	31	26,3	31
Энергия удара, Дж	340	480	401
Ударная мощность, кВт	10,5	12,5	14,8
Расход воздуха, м ³ /мин	24	33,8	33,8
Удельная мощность, кВт/м ³ /мин	0,438	0,369	0,438

Пневмоударник П-160 В2 по своим качественным показателям соответствует своему прототипу, но отличается более высокой ударной мощностью и может претендовать на техническое проектирование. Методика проектирования машин на основе критериев подобия позволяет выполнить проектный поиск параметров, обеспечивающих производительную работу малогабаритных ударников.

2. Определение минимальной ударной массы и начальной скорости бурения погружных пневмоударников

Элементарная работа силы удара F на бесконечно малом интервале перемещения ударника на длину dx определяется как $A=Fdx$, но $F=kx$, поэтому

$$A = \int_0^x kx dx = \frac{kx^2}{2}, \quad (5)$$

где k — жесткость ударника, Нм⁻¹.

Для ударника сечением S , длиной l , при модуле упругости материала E и относительной деформации ε

$$A = \frac{SlE\varepsilon^2}{2}. \quad (6)$$

Выражение (6)¹ представляется как

$$A = \frac{V_0 E \varepsilon^2}{2}. \quad (7)$$

где V_0 — объем ударника, м³.

Объемную плотность энергии упругой деформации можно выразить эквивалентными друг другу выражениями

¹ Гершензон Е. М., Малов Н. Н., Мансуров А. Н. Механика. – М.: Академия, – 2001.

$$\omega = \frac{E\varepsilon^2}{2} = \frac{\sigma\varepsilon}{2} = \frac{\sigma^2}{2E}. \quad (8)$$

При растяжении образца из углеродистой стали предельная относительная деформация для зоны линейных соотношений

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{\tau}}{E} = \frac{3,3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{11}} = 1,65 \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

где σ_{τ} — предел текучести стали, Па; E — модуль упругости, Па.

Зная $\varepsilon_{\text{пр}}$, можно найти и предельную объемную плотность энергии деформаций

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} \sigma_{\tau}}{2} = 2,7 \cdot 10^5 \text{ Дж} / \text{м}^3 \quad (10)$$

Для пневмоударника М48 объем ударной массы составляет $V_0 = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, поэтому предельная энергия удара, с которой мог бы работать данный ударник соответствует $A_{\text{пр}} = V_0 \omega_{\text{пр}} = 3,59 \cdot 10^{-4} \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 96,93 \text{ Дж}$.

Полученный результат практически совпадает с паспортным значением энергии удара для М48 равной 93,3 Дж. Это свидетельствует о том, что снижать массу такого ударника при условии роста энергии удара почти невозможно. Однако так как предельные напряжения сжатия могут превышать предел текучести при растяжении, а динамический модуль упругости отличается от статического, то остается резерв увеличения энергии удара.

Применение легированных сталей повышает предел их усталостной прочности более чем в два раза по сравнению с углеродистой сталью, что по (8) увеличивает более чем в четыре раза объемную плотность энергии упругой деформации. Этот вывод вселяет надежду на успешность модернизации типовых конструкций отечественных пневмоударников за счет увеличения хода ударника и уменьшения его массы.

Эта идея была заложена в патенте РФ № 2209914 «Погружной пневмоударник»¹. Суть патента заключается в следующем:

В корпусе находится ударник, который оснащен оголовником. Ударник наносит удары по долоту, взаимодействующему с породным забоем скважины. Оголовник выполняется из высокопрочного материала, который обладает высоким уровнем предельной объемной энергии упругих деформаций $\omega_{\text{пр}}$. Таким материалом может быть вольфрам-кобальтовый сплав ВК2S, обладающий высоким уровнем ударной вязкости, пределом прочности $\sigma_{\text{в}} = 3500 \text{ МПа}$ и модулем упругости $E = 4320 \text{ МПа}^2$.

¹ Климов Б. Г., Гилянова А. Н., Матвеева А. И. Погружной пневмоударник для бурения скважин. Пат. 2209914 РФ.

² Иванов К. И., Глазунов В. Н., Надион М. Ф. Современные методы бурения крепких пород. — М.: Госгортехиздат, — 1963.

По (8) предельная энергия упругих деформаций составит

$$\omega_{np} = \frac{\sigma_B^2}{2E} = \frac{3500^2 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 4320 \cdot 10^6} = 14178 \cdot 10^5 \frac{Дж}{м^3}$$

Принимая к расчету $\omega_{np} = 140 \times 10^5 \text{ Дж/м}^3$ из-за не изученности предела усталости вольфрамо-кобальтовых сплавов, получаем возможность значительно уменьшить массу ударника и его размеры, так как плотность сплава ВК 25 в два раза выше, чем плотность стали при сохранении энергии единичного удара.

Еще более высоким уровнем временного сопротивления сжатию обладает сплав ВК8. У него $\omega_{\sigma} = 5860 \text{ МПа}$, что удваивает значение ω_{np} по сравнению со сплавом ВК25.

Использование предлагаемого пневмоударника позволит при малых габаритах оголовника и уменьшении массы ударника повысить предельно допустимую энергию единичного удара или увеличить частотность процесса, что в конечном результате позволит повысить ударную мощность пневмоударника.

Полученный результат в равной мере относится и к буровым коронкам, корпуса которых также работают в условиях предельных нагрузок.

Это означает, что масса коронки m_2 должна быть не менее ударной массы m_1 .

Рассмотрим влияние массы на начальную скорость бурения. В момент окончания рабочего хода ударной массы m_1 она со скоростью v_1 ударяет по неподвижному буровому инструменту с массой m_2 .

По закону сохранения импульса¹

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (11)$$

где v_2 — скорость коронки до удара ($v_2 = 0$), u_1 и u_2 — скорости соответствующих масс после удара.

Экспериментальные наблюдения за процессом соударения стандартных коронок и реальных ударных масс m_1 при их силовом взаимодействии с породой показывают возможность допущения $u_1 = u_2 = u$, так как при соизмеримых значениях m_1 и m_2 отскока ударника от коронки нами не наблюдалось.

Поэтому (11) преобразуется к виду

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u \quad (12)$$

или

$$u = v_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (13)$$

Аналогичный результат получен Осецким В. М. при анализе схем баллистического маятника. Исходя из закона сохранения энергии и принятых условий

$$m_1 v_1^2 = (m_1 + m_2) u^2 + c y^2 \quad (14)$$

где c — жесткость забоя, Нм^{-1}

y — перемещение коронки за один удар, м.

¹ Осецкий В. М. Техническая механика. – М.: Госгортехиздат, – 1962.

Из (14) с учетом (13) следует, что

$$y = v_1 \sqrt{\frac{1}{c \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}} \quad (15)$$

Так как энергия удара

$$A_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \quad \text{и} \quad v_1 = \sqrt{\frac{2A_0}{m_1}}$$

то (15) примет вид

$$y = \sqrt{\frac{2A_0}{c \left(\frac{m_1}{m_2} + 1 \right)}} \quad (16)$$

Если раскрыть значение c и принять $m_1 = m_2$, то (16) примет вид

$$y = \frac{A_0}{\varepsilon_n E_n F_n} \quad \text{или} \quad y = \frac{A_0}{\sigma_n F_n} \quad (17)$$

где ε_n , E_n , σ_n и F_n — соответственно, относительная деформация, модуль упругости, напряжение в породе и площадь контакта инструмента с породой.

По своему содержанию (17) раскрывает физическую природу формулы Ю. Г. Конышина¹ по производительности пневмоударников в начале процесса бурения.

При заданных значениях хода ударника, давления сжатого воздуха, площадей ударника в камерах рабочего и холостого ходов уменьшение m_1 приводит к росту ударной мощности.

Относительное значение m_1/m_2 в (16) показывает существенную роль для оценки производительности пневмоударников, хотя абсолютное снижение величины m_1 ограничивается объемной плотностью энергии упругой деформации.

Выполненный анализ позволяет проектировать конструктивные схемы пневмоударников и коронки для них по минимальным значениям масс. Вольфрам-кобальтовые породоразрушающие элементы по (8) обладают уникальным уровнем предельной объемной энергии деформации. Предельные напряжения сжатия W-Co сплавов в 10–20 раз превышают соответствующие показатели для конструкционных сталей, что позволяет определять их $\omega_{\text{пр}} = 140 \times 10 - 280 \times 10$ Дж/м. При этом более высокие значения относятся к сплавам с более низким содержанием кобальта. Приведенные константы позволяют проектировать буровой инструмент заданной производительности.

¹ Иванов К. И., Латышев В. А., Андреев В. Д. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, – 1987.

3. Экспериментальная проверка принципов моделирования пневмоударников

С увеличением давления сжатого воздуха в сети скорость бурения перфораторами и пневмоударниками возрастает. Испытания показывают, что механическая скорость бурения по породам различной крепости при росте давления воздуха носит линейный характер¹. Сравнительные данные показаний и расчетные значения роста ударной мощности по (3) приведены в табл. 3. Так как производительность бурения, характеризуемая ее скоростью, пропорциональна ударной мощности, то сравнение $\alpha_N = \alpha_P^{\frac{3}{2}}$ и $\alpha_Q = V_{p2}/V_{p1}$, где V_{p2} и V_{p1} — соответственно скорости бурения при давлениях p_2 и p_1 , дает возможность оценить достоверность (3). Отклонение результатов в пределах 5–23% подтверждает справедливость (3) при p_2 до 1,2 МПа.

Таблица 3. – Изменение скорости бурения и расчетной ударной мощности, %

Тип горных пород	Рост показателей		Погрешность давления, %
	α_Q	α_N	
Сиениты	164	183	11
Скарны	154	183	16
Магнетиты	144	183	23
Сланцы	350	370	5

Аналогичные результаты сравнения роста скорости бурения пневмоударником СОР42 при увеличении давления воздуха с 0,6 до 1,8 МПа определяют несоответствия расчета по (3) в виде 33% отклонения результатов. Результаты сравнения фактической скорости бурения пневмоударником УУ-4² с расчетной ее величиной при росте давления сжатого воздуха приведены в табл. 4.

Таблица 4. – Сравнительные данные скорости бурения

Давление воздуха, МПа	Скорость бурения, мм/мин		Расхождения результатов, %
	Опытная	Расчетная	
0,4	37	37	0
0,5	60	51	14
0,6	83	68	18
0,7	89	75	4

¹ Климов Б. Г., Гильянова Л. Н., Матвеева Л. И. Погружной пневмоударник для бурения скважин. Пат. 2209914 РФ.

² Гагулин М. В. Современные способы и технология бурения взрывных скважин при подземной отбойке руд. – М.: Наука, 1967.

Удовлетворительное совпадение расчетных и фактических данных свидетельствует о приемлемости использования формул моделирования при изменении давления.

В табл. 5 показаны фактические и расчетные данные пневмоударников УУ-4 и ПП-105-2,2. При этом ПП-105-2,2 считается моделью пневмоударника с параметрами натуры, в роли которой выступает пневмоударник УУ-4. Оба пневмоударника спроектированы для бурения скважин диаметром 105 мм.

Таблица 5. – Сравнение фактических и расчетных данных моделирования параметров

Наименование параметров	Типы ударников			Отклонение, %
	ПП-105-2,2	УУ-4	УУ-41	
Диаметр бойка, мм	75	80	80	0
Ход бойка, мм	55	45	45	0
Энергия удара, Дж	73,5	58,8	67,9	+13,5
Частота ударов, с	32,5	40	38,0	-5,0

Удовлетворительное совпадение прогнозных параметров пневмоударника УУ-41 с фактическими параметрами реальной конструкции УУ-4 подтверждают возможность использования методики моделирования при проектировании реальных конструкций.

Выполним моделирование параметров пневмоударника ПП-105 при использовании в качестве модели конструктивных решений шведского пневмоударника СОР-42. Масштаб масс $\alpha_m = 3,2:113,3 = 0,283$; масштаб хода $\alpha_s = 55:136 = 0,404$; масштаб давления $\alpha_p = 0,5:1,8 = 0,273$; масштаб сечений $\alpha_F = 1$.

Расчетный масштаб расхода воздуха по (4) составит

$$\alpha_v = 0,278^{3/2} \times 1^{3/2} \times 0,404^{1/2} \times 0,283^{-1/2} = 0,174$$

Прогнозируемый расход воздуха составит

$$V = V_m \times \alpha_v = 19 \times 0,174 = 3,3 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Так как паспортный расход пневмоударника ПП-105-2,2 составляет $5,5 \text{ м}^3/\text{мин}$, то конструктивные решения СОР42 обеспечивают 40% снижение расхода воздуха.

Сравнительная оценка результатов моделирования пневмоударников с реальными опытными данными позволяет косвенно или непосредственно удостовериться в правомочности предлагаемых принципов проектирования и выбора параметров оборудования рассматриваемого типа.

4. Определение прочности твердосплавных инструментов

Применение вольфрамо-кобальтового сплава в качестве породоразрушающих элементов, значительно повышает производительность труда. Это достигается за счет жесткого соблюдения технологического режима. Известно, что

твердые сплавы получают методом спекания компонентов при высоких, выше 1600 °С, температурах. Однако, на процесс спекания оказывают значительное влияние большое число различных факторов. Они разнообразны по своей природе и степени влияния на процесс. Исходя из необходимости обеспечения требуемых характеристик твердосплавных изделий, возникают вопросы исследования самого процесса спекания. Особый интерес представляет механизм процесса, его общие закономерности, описание которых позволяет перейти к формализации процесса. Были проведены исследования кинетики процесса спекания с целью получения зависимостей, необходимых для построения и идентификации модели процесса спекания и определения кинетических констант процесса. Определение кинетических зависимостей проводилось методом физического моделирования¹. В результате обработки полученных экспериментальных данных была построена математическая модель процесса спекания твердых сплавов:

$$\frac{d\gamma}{d\tau} = \frac{G'V - V'G}{V^2} \quad (18)$$

где $d\gamma$ — изменение плотности сплава за время спекания, г/см³

$d\tau$ — время, мин.;

V — объем сплава, см³;

G — удельный вес сплава, г/см³.

Эта зависимость может быть использована для практической реализации, однако надо помнить, что с повышением температуры повышается активность зерен, что ведет к изменению их дислокации в сторону уплотнения. Снижение температуры и, возможно скорости процесса, отразится на технико-экономических показателях процесса.

В процессе спекания доминирующими становятся удаление летучих, рост зерен карбида вольфрама и уплотнение в присутствии жидкой фазы, которые оказывают наиболее существенное влияние на качество готового продукта.

Изучение основных закономерностей спекания, протекающего в муфельной печи, представляет значительный интерес для решения конечной задачи — разработки оптимальной системы управления, и позволит решить вопрос об оптимальном температурном режиме и производительности печи, а также определить критерий оптимального управления процессом².

В результате исследование процесса спекания было установлено, что выходные показатели процесса определяются температурой и продолжительностью спекания. Были определены характерные зависимости плотностью сплава и тем-

¹ Налимов В. В., Чернова И. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, — 1965. — 340, ил.

² Там же.

пературой спекания. Это важно для понимания однозначности приведенных характеристик сплава и энергии деформации и напряжения сжатия изделия.

Для определения характера изменения выходных характеристик сплава была проведена выборка качественных показателей сплава по нескольким маркам. Выборка проводилась за год; брались те данные, которые соответствовали нормальному рабочему режиму. По полученным данным были построены кривые распределения, определены математические ожидания M_y , дисперсия D_y и среднеквадратичное отклонение σ_y . Анализ полученных кривых показал, что имеется незначительный разброс параметров, выходящий за предел статистически допустимого интервала 3σ . Однако, требования стандарта выше, определяет необходимость применения систем оптимального управления процессом.

В нашем случае оптимальность определяется показателями качества готового продукта:

$$K = f(y_1, y_2, y_3) = a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 \quad (19)$$

где y_1, y_2, y_3 — показатели качества (удельный вес, твердость и прочность)

На каждый аргумент данного функционала имеются ограничения, обусловленные требованиями стандарта:

$$y_1^{\min} \leq y_1^t \leq y_1^{\max} \quad (20)$$

y_1^{\min}, y_1^{\max} — границы допустимого показателя качества;

y_1^t — параметр качества.

Критерий в совокупности с параметрами качества образует целевую функцию управления процессом. Для реализации принятого критерия необходимо разработать алгоритм управления процессом, определяющий порядок расчета с помощью ЭВМ значения режимных параметров, обеспечивающих условия оптимальности.

Для подтверждения этого тезиса был проведен пассивный эксперимент, который выявил наиболее значимые параметры, пригодные в дальнейшем для управления процессом. Уточнение связей между параметрами проводили с помощью активного эксперимента. Активный эксперимент был основан на плане Бокса — Уилсона¹.

В первую очередь были определены параметры варьирования и выходные. В качестве параметров варьирования использовали те параметры, которые максимально отражали связи, найденные при пассивном эксперименте. Были отобраны восемь параметров. Учитывая большое число опытов при полном факторном эксперименте, было решено выбрать дробный факторный эксперимент $1/16$ реплика типа 2^{8-4} и для него составлена матрица. Для ограничения влияния случайных воздействий во время проведения эксперимента опыты были рандомизированы во времени согласно таблице малых случайных чисел. Направление

¹ Налимов В. В., Чернова И. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, — 1965. — 340, ил.

движения при поиске оптимальной области существования процесса был проведен «перевальный» опыт¹.

Указанный эксперимент проводился на промышленной печи. Последовательность опытов осуществлялась по принятой матрице. Спеченные изделия анализировались на удельный вес, твердость, прочность на изгиб. Определение показателей проводилось по стандартным методикам. Полученные результаты обрабатывались на ЭВМ, вследствие чего получены уравнения множественной регрессии:

$$\gamma = 11,53 + 0,000924t_1 + 0,00132t_2 + 0,0175Q_{H2} + 0,0281V_n + 0,0775WC - 0,0235Co + 0,131C_\Sigma + 0,0331N_3 \quad \eta = 0,825 \quad (21)$$

$$\sigma_u = 97,075 + 0,04925t_1 + 0,06625t_2 - 0,03725 Q_{H2} - 0,0729V_n + 0,9125WC - 0,1545Co + 0,669C_\Sigma + 0,138N_3 \quad \eta = 0,997 \quad (22)$$

$$\sigma_m = 92,88 - 0,0749t_1 + 0,00542t_2 - 0,0775 Q_{H2} + 0,1448V_n + 0,882WC - 0,00517Co + 0,0312 C_\Sigma + 1,42 N_3 \quad \eta = 0,955 \quad (23)$$

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что существует оптимальный технологический режим процесса, при котором достигается наилучшее качество сплава. Величина качества сплава определяется уровнем входных параметров — содержанием карбида вольфрама и углерода, а также величиной зерна карбида вольфрама, температурой и временем спекания.

Отсюда следует вывод, что стойкость, а, следовательно, качество, инструмента зависит от технологии его изготовления. В данном случае речь идет о твердо-сплавном буровом инструменте. Говорить о его преимуществах не приходится, так как они очевидны. Необходимо только подчеркнуть, что при его производстве требуется высокий уровень технологии и культуры производства.

¹ Адлер Ю. П., Горский В. Г. Планирование промышленных экспериментов. – М.: Металлургия, – 1974. – 264 с., ил.

Valeeva Emiliya Ramzиеvna,
 FGAOU VPO Kazan (Volga Region) Federal University,
 Institute of Fundamental Medicine and Biology,
 Professor, Doctor. Ph. D. Department of bio-ecology,
 hygiene, public health
 E-mail: val-med@mail.ru

Ziyatdinova Alfa Ishakovna,
 FGAOU VPO Kazan (Volga Region) Federal University,
 Institute of Fundamental Medicine and Biology,
 Professor, Ph. D., Department of Human Health
 E-mail: alfiya.ishakovna@mail.ru

Serazetdinova Farid Irekovna,
 FGAOU VPO Kazan (Volga Region) Federal University,
 Institute of Fundamental Medicine and Biology,
 graduate student of bio-ecology, hygiene, public health
 E-mail: farida-saitgaleeva@yandex.ru

Chapter 4. Analysis of supply and the role of students in formation behavioral eating habits

Валеева Эмилия Рамзиевна,
 ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
 федеральный университет»
 Институт фундаментальной медицины и биологии,
 профессор, д. м. н. кафедры биоэкологии,
 гигиены, общественного здоровья
 E-mail: val-med@mail.ru

Зиятдинова Альфия Исхаковна,
 ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
 федеральный университет»
 Институт фундаментальной медицины и биологии,
 профессор, д. б. н., кафедры охраны здоровья человека
 E-mail: alfiya.ishakovna@mail.ru

*Серазетдинова Фарида Ирековна,
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»
Институт фундаментальной медицины и биологии,
аспирант кафедры биоэкологии, гигиены,
общественного здоровья
E-mail: farida-saitgaleeva@yandex.ru*

Глава 4. Анализ питания школьников и роль поведенческих стереотипов в формировании пищевых пристрастий

Аннотация: Согласно нашим результатам правильный режим дня присутствовал лишь у незначительной доли учащихся. У большинства респондентов, основной прием пищи по объему и калорийности приходится на вечернее время. По результатам опроса только 52% подростков включают в свой рацион свежие овощи и фрукты ежедневно. В рационе подростков преобладает углеводный компонент за счет мучных изделий. Основные питательные вещества рационов подростков не сбалансированы по содержанию белков, жиров и углеводов. Охват групповой йод профилактики в школах с использованием йодсодержащих препаратов составлял 13,4%, что является недостаточным.

Ключевые слова: здоровье, подростки, рацион питания, гигиенические требования к пищевой продукции.

Введение Уровень развитие общества во многом определяется состоянием популяционного здоровья подростков, которые оказывают значимое влияние на формирование здоровья нации в целом и в дальнейшем формируют ее культурный, интеллектуальный, производственный и репродуктивный потенциал¹. В настоящее время в мире насчитывается 1, 2 миллиардов подростков; во многих странах каждый пятый — подросток, что предполагает инвестиции в здоровье подростков, которые дают тройную доходность. Для любой страны здоровье этой возрастной группы — актуальная социально-демографическая проблема, а их тенденции, причины и возрастно-половая специфика являются объектом пристального изучения. Это обусловлено тем, что за последние годы состояние здоровья подростков ухудшилось во всех регионах страны и в мире. Выраженные негативные сдвиги в состоянии здоровья детей подросткового возраста уже при-

¹ Баранов А. А., Намазова-Баранова Л. С., Альбицкий В. Ю., Терлецкая Римма Николаевна, Антонова Е. В., Состояние и проблемы здоровья подростков в России // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины, – 2014, – № 6, – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-problemy-zdorovya-podrostkov-v-rossii> (дата обращения: 24.11.2016).

вели к серьезным медико-социальным последствиям — ухудшению репродуктивного здоровья, ограничению в получении профессионального образования, трудоустройстве, уменьшению числа юношей, годных к военной службе¹. Новая стратегия ВОЗ для Европы «Здоровье-2020», которую Региональное бюро разрабатывает в партнерстве с 53-мя государствами-членами в Европейском регионе, в качестве ключевых задач сформулировала укрепление здоровья населения и сокращение несправедливости в вопросах здоровья. Решение вопросов, касающихся социальных детерминант здоровья и сокращения, связанных с этим несправедливостей в отношении здоровья занимают центральное место в политике «Здоровье-2020». Основное внимание пятого международного отчета НБСЦ сосредоточено на социальных детерминантах². Исследователи в Австралии изучали оптимальное соотношение между увеличением физической активности и уменьшением количества еды. В возрастании масштабов ожирения в развивающихся странах почти полностью виновно переизбыток, а не сидячий образ жизни. Исследование эпидемии ожирения в США, проводимое Сотрудничающим центром ВОЗ по предупреждению ожирения в Университете Дикин, Викториа, Австралия, показало, что за последние 30 лет не было значительного уменьшения уровней физической активности. По его результатам, обвинять надо избыток

¹ Баранов А. А., Намазова-Баранова Л. С., Альбицкий В. Ю., Терлецкая Римма Николаевна, Антонова Е. В., Состояние и проблемы здоровья подростков в России // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины, – 2014, – № 6, – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-problemy-zdorovya-podrostkov-v-rossii> (дата обращения: 24,11,2016); Баранов А. А., Намазова-Баранова Л.С, Ильин А. Г., Сохранение и укрепление здоровья подростков – залог стабильного развития общества и государства (состояние проблемы), Вестник РАМН, – 2014. – № 5–6: – 65–70.; Валева Э.Р, Хамитова Р.Я, Риски формирования болезней среди учащихся образовательных учреждений, Гигиена и санитария, – 2006, – № 6, – С, 54–55.; Валева Э.Р., Степанова Н.В., Камалова Ф. М., Серазетдинова Ф.И, Актуальные проблемы здоровья подростков Республики Татарстан, Современные проблемы науки и образования, – 2015, – № 6–0, – С, 239.; Валева Э.Р., Степанова Н.В., Махмутова Э.Р., Региональные особенности заболеваемости подростков Татарстана, Гигиена и санитария, – 2015, – Т. 94. – № 4. – С. 70–72.; Глобальная рамочная программа ускоренных действий в отношении здоровья подростков «АА-НА», URL: http://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/adolescent-health-global-framework-brochure-ru.pdf?ua=1 ссылка

² Patton G. C., Ross A., Santelli J. S., Sawyer S. M., Viner R. M., Kleinert S., Next steps for adolescent health: a Lancet Commission, Lancet, – 2014; – 383: – 385–6, – doi:10.1016/S0140–6736(14)60039–8.; Young people today: time to act now, Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, – 2013, Доклад о мировом развитии – 2007 г.; развитие и новое поколение, Вашингтон: Всемирный банк; – 2006 г, Положение детей в мире, – 2011 г.; подростковый возраст – возраст возможностей, Нью-Йорк: Детский фонд Организации Объединенных Наций; – 2011 г, Progress for children: a report card on adolescents, Number 10, New York: United Nations Children’s Fund; – 2012, Generation of change: young people and culture, New York; United Nations Population Fund; – 2008, Marrying too young – end child marriage, New York: United Nations Population Fund; – 2012.

калорий. Этот же результат исследователи ожидают получить при повторении этих исследований в других странах. Здоровье отражает также индивидуальные и культурные характеристики, такие как социальный статус, гендерная, этническая принадлежность, возраст¹.

ВОЗ предоставляет технические рекомендации Глобальной стратегии Генерального секретаря ООН по охране здоровья женщин, детей и подростков и сотрудничает с другими учреждениями ООН и партнерами в области разработки Глобальной рамочной программы ускоренных действий в интересах здоровья подростков (АА-НА!), предназначенной для содействия странам в принятии решений в отношении того, что и как делать в области охраны здоровья подростков².

В России Национальный проект «Здоровье» был разработан в связи с ухудшением демографической ситуации и здоровья населения, а также для исправления негативных показателей системы здравоохранения. Проекту предстояло решить наиболее важные проблемы, накопившиеся в отрасли. Доля внутреннего валового продукта, расходуемого на нужды здравоохранения, в последние десятилетия была в два-три раза ниже, чем в странах с низкой смертностью, притом, что и сам ВВП в расчете на душу населения в России был в 2–4 раза ниже, чем в этих странах³. Одним из важных направлений Национального проекта является развитие профилактической составляющей медицинской помощи и пропаганда здорового образа жизни. В отношении последнего пока не следует ожидать быстрых кардинальных изменений, поскольку формирование сознания, установок, потребностей — гораздо более сложные и длительные процессы, чем любая реформа. Кроме того, нельзя не учитывать, что состояние здоровья населения зависит, как известно, от системы здравоохранения лишь на 15–20%, а решающая роль принадлежит образу жизни людей. Таким образом, в условиях сформировавшейся в последнее десятилетие негативной динамики показателей общественного здоровья населения именно подростки становятся одной из наиболее социально уязвимых групп населения, а вопросы их здоровья — предметом специального рассмотрения.

Цель исследований: изучение качественного состава рациона питания подростков и роль поведенческих стереотипов в формировании пищевых пристрастий.

¹ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Татарстан в – 2015 году».

² Глобальная стратегия охраны здоровья женщин, детей и подростков (2016–2030) URL: http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/global-strategy-women-children-health-ru.pdf?ua=1B

³ Журавлева И. В., Иванова Л. Ю. Улучшит ли Национальный проект «Здоровье» состояние здоровья подростков? Интернет конференция «Дети и молодежь» URL: <http://ecsocman.hse.ru/text/33372905>

Материал и методы: В соответствии с программой исследования была разработана карта «Медико-социальная и гигиеническая характеристика питания подростка». Для выполнения поставленной цели, нами было проведено анкетирование подростков в возрасте 10–17 лет. Структура стереотипов поведения подростков была определена в результате анализа рациона и режима питания, пищевого поведения.

Результаты: Питание это один из главных факторов среды обитания, оказывающих влияние на состояние здоровья подростка. Рациональное питание является мощным фактором профилактики многих заболеваний, оно способствует поддержанию организма в оптимальном физиологическом состоянии, повышению иммунитета и сопротивляемости организма к неблагоприятным факторам окружающей среды. Нормальное функционирование защитно-адаптационных систем подростка зависит от обеспеченности организма всеми необходимыми нутриентами. За последние три года охват школьников горячим питанием в целом по Республике Татарстан увеличился и в 2015 году составил 94,4%. Темп прироста за 3 года положительный и составил 2,2% (табл. 1).

Таблица 1. – Охват учащихся общеобразовательных организаций горячим питанием, %

Всего	годы			Темпы прироста к 2013 году, %	РФ 2014 г.
	2013 г.	2014 г.	2015 г.		
Всего	94,2	94,2	94,4	2,2	88,1
с 1-го по 4-й классы	97,1	98,2	98,4	1,3	96,3
с 5-го по 11-й классы	92,2	91,4	91,6	-0,7	81,9

Увеличение охвата школьников горячим питанием в целом обусловлено ростом данного показателя в 14 административных территориях республики. Наибольшая работа проведена в Елабужском и Альметьевском районах, где отмечается рост охвата горячим питанием учащихся общеобразовательных организаций на 8,5% и 7,0% соответственно. В целом охват горячим питанием школьников по-прежнему, ниже среднереспубликанского показателя, как и в 2014 году, отмечается в Чистопольском (87%), Нижнекамском (93,3%) районах и в г. Н. Челны (93,0%). По сравнению с 2014 годом в ряде районов в 2015 году отмечается снижение доли детей и подростков, получающих горячее питание в общеобразовательных учреждениях: на 4,7% в Спасском районе, на 1,6% в Азнакаевском районе, на 1,1% в г. Н. Челны, на 0,8% в Нижнекамском районе, на 0,3% в Менделеевском районе, на 0,1% в Верхнеуслонском районе. Оценка показателя охвата школьников горячим питанием позволяет отметить, что с началом нового учебного года

однократное горячее питание получают 230432 школьников или 60,6% (2014 г. –60,4%). За период с 2013 по 2015 гг. на 1,2% увеличился удельный вес охвата учащихся двухразовым горячим питанием (2013 г. –34,6%, 2015 г. — 35,8%), что обусловлено увеличением охвата двухразовым горячим питанием школьников первой образовательной ступени. В 2015 году в 13 районах республики охват школьников двухразовым горячим питанием превысил 50%. Однако в ряде территорий двухразовое горячее питание в общеобразовательных учреждениях по-прежнему в стадии организации: Бавлинский, Буинский, Тукаевский, Муслюмовский и Пестречинский районы.

Продолжают иметь место факты несоответствия гигиеническим требованиям качества выпускаемой пищевой продукции, нарушения технологии приготовления и сроков реализации готовых блюд (табл. 2). При этом в 2015 году не регистрировались исследования готовых блюд, не соответствующие гигиеническим требованиям по содержанию пестицидов, гистамина, ГМО, радионуклидов, а также не выявлялась патогенная микрофлора.

Таблица 2. – Удельный вес нестандартных проб готовых блюд в организациях для детей и подростков, %

Показатели	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Темп прироста к 2013 г.
Санитарно-химические	3,7	3,0	1,5	–59,5
Микробиологические	2,9	2,8	2,5	–13,8
Калорийность и полнота вложения продуктов	9,4	9,4	7,2	–23,4
Вложение витамина С	4,9	2,4	6,1	+24,5
Качество термической обработки	2,0	–	0,2	–90

Отрицательный темп прироста свидетельствует о снижении удельного веса проб, несоответствующих нормативным требованиям. Загрязнение пищи микроорганизмами, способными наносить вред здоровью ребенка, остается важной проблемой в организации питания в детских организованных коллективах. Микробиологическая безопасность пищи опирается, прежде всего, на соблюдение санитарно-гигиенических требований при производстве пищевых продуктов. По всем типам детских и подростковых организаций в трехлетней динамике отмечается снижение с 2,9% до 2,5% удельного веса исследований готовых блюд, не соответствующих нормативным требованиям по микробиологическим показателям. Следует отметить, что положительная динамика данного показателя прослеживается по общеобра-

зовательным организациям, социальным учреждениям для детей, оставшихся без попечения родителей, и учреждениям для отдыха и оздоровления детей.

Образ жизни современного подростка представляет собой высокий ритм, где вопросам питания не всегда уделяется соответствующее внимание, речь о сбалансированном рационе питания и вовсе может и не рассматриваться. Из 246 опрошенных респондентов 15% были в возрасте 10 лет, 27% – 11 лет и 23% – 12-летние, 22% – 13 летние, 13% – 14 летние.

Среди родителей преобладали лица со средне-специальным образованием (68%), каждый третий отец и мать имели высшее образование и лишь 1,5% из них были с неполным средним образованием.

При характеристике семей по наличию родителей принято делить на полные и неполные. Полные состоят из родительской пары и их детей, не состоящих в браке. На момент опроса, среди подростков проживали в полных семьях $\frac{3}{4}$ опрошенных. К неполным семьям относятся те, которые состоят из матери или отца с детьми.

Большинство учащихся (83,4%) воспитывались в малодетных семьях (с 1–2 ребенком), в многодетной семье (с 3 и более детьми) — лишь 14,7%. Респонденты оценили психологический климат в 96%, как удовлетворительный, хороший — 3%. Изучение режима питания учащихся г. Казани показало, что они чаще едят 3 раза в день (29,4%) или 4 раза (44,8%); 5 раз принимают пищу 17%, 6 раз и более — 8,1%. Полученные данные существенно различаются от результатов предыдущих исследований: 45% школьников принимают пищу 3 раза в день и 29% — 4 раза¹. Каждый шестой школьник (17,3%) имеет горячие блюда только один раз в день. Те, кто имел возможность принимать горячие блюда 2–3 раза, составляли 69,4%, 4 раза и более — 13%.

Завтракают дома регулярно 81% респондентов, но однако каждый пятый ребенок не ест утром. Регулярно кушают в школе 85% подростков, 15% нет. Причем, у большинства респондентов, основной прием пищи по объему и калорийности приходится на вечернее время. Далее мы выяснили присутствие в недельном рационе основных необходимых продуктов. По результатам опроса 52% подростков включают в свой рацион свежие овощи и фрукты ежедневно или как минимум 3-4 раза в неделю, редко — 13,3% респондентов. Наиболее частыми овощами были названы огурцы, помидоры, картофель и капуста, а редкими — редис, тыкву, кабачки и бобовые. Среди фруктов лидирующие позиции заняли яблоки, бананы и цитрусовые. При анализе частоты употребления молочных продуктов было установлено: совсем не включают данную группу

¹ Баранов А. А., Намазова-Баранова Л. С., Ильин А. Г., Сохранение и укрепление здоровья подростков – залог стабильного развития общества и государства (состояние проблемы), Вестник РАМН, – 2014. – № 5–6: – 65–70.

продуктов в рацион 1% подростков, крайне редко — 25%, 3-4 раза в неделю — 41% опрошенных, и ежедневно — 33%. Среди названных молочных продуктов самыми популярными являются молоко, йогурт (кефир) (такой ответ дали 57% и 44%), только 10% опрошенных не употребляют молоко. Ежедневно в свой рацион включают майонез 36%. Одна пятая респондентов не употребляют сыр. Если 64% употребляют орехи, то каждый седьмой не включает их в свой рацион. По результатам анкетирования было выявлено, что у 10,5% подростков в недельном рационе редко присутствует мясо. Ежедневно употребляют мясные продукты только 67%. Достаточно часто в рационе подростков присутствует мясо птицы, а именно курица. Более половины всех анкетлируемых употребляют мясо курицы 3-4 раза в неделю (81%). Несколько в меньшем объеме употребляют рыбу и морепродукты, только 66,8% респондентов указали на присутствие в их недельном рационе данной группы продуктов. Не употребляют рыбу 6%, и употребляют «крайне редко» — 8,2%, 21% 1 раз в день употребляет сосиски. В рационе питания подростков достаточно часто встречаются мучные изделия в различной форме (пирожки, булочки, кексы, пирожные и т. д.). У 77,9% отмечено ежедневное присутствие данной группы продуктов, у 7,3% — мучные изделия встречаются 3–4 раза в неделю, редко употребляют — 9,8%. Конфеты, шоколад не регулярно употребляют только 5%, 3 раза в день — 3% респондентов. Важно учитывать не только каков качественный состав продуктов, но в каком виде они употребляются. Только 10,2% учащихся указали на то, что употребляют пищу, приготовленную на пару. Большая часть (62,3%) предпочитают жареную пищу. Оставшиеся 27,5% отваривают продукты.

Учитывая ритм жизни современного подростка, очень часто вместо полноценного питания приходится прибегать к употреблению еды из категории «фаст-фуд». Большая часть подростков (75,8%) указали, что употребляют «фаст-фуд», 3% респондентов ответили, что редко. В категорию регулярно употребляющих еду быстрого приготовления попали только 7% опрошенных, 2% респондентов полностью исключают «фаст-фуд» из рациона. Предпочтение сладкому, газированным напиткам отдают 83% и так же только 2% исключают. Присаливают пищу более половины опрошенных (64%), лишь 6,3% нет. Из продуктов, которые обычно учащиеся используют для стимуляции умственной деятельности, были названы «шоколад» — 53%, «кофе» — 42%, «мясопродукты» — 25%.

Качественная характеристика рационов питания позволяет говорить о дефиците потребления белковой пищи у значительной части подростков.

Особенностью экологической ситуации в Республике Татарстан является природный дефицит йода, в связи с чем проводится работа, направленная на профилактику йоддефицитных состояний, в том числе в детских организованных коллективах. С этой целью используются как средства массовой профилактики

микронутриентной недостаточности (использование продуктов питания массового потребления: йодированная соль, йодированные хлебобулочные и молочные продукты), а так и средства групповой профилактики. В 2013 г. охват групповой йодпрофилактикой детей общеобразовательных школ и детских учреждений республики с использованием йодсодержащих препаратов («Йодомарин», «Микройодид», «Калиййодид», «Пантейод») составлял 13,4%, который можно оценить как явно недостаточный. Кроме того в некоторых районах республики (Азнакаевский, Высокогорский, Лаишевский, Верхнеуслонский, Нурлатский, Актанышский) отмечается продолжительность йодопрофилактики в течение либо 1 месяца, либо от 1 до 6 месяцев, что делает групповую йодпрофилактику неэффективной, поскольку йод относится к эссенциальным микроэлементам, которые не обладают способностью накапливаться в организме и потому должны постоянно пополняться. Уровни заболеваемости и распространенности диффузным (эндемическим) зобом, связанные с йодной недостаточностью и другими формами нетоксического зоба среди подростков 15–17 лет по РТ (отчетная форма № 63) за исследуемые годы показали снижение показателей, что вероятнее всего можно объяснить недостаточностью данных при сборе первичной информации (табл. 3, 4).

Таблица 3. – Распространенность диффузного (эндемического) зоба, связанная с йодной недостаточностью и других форм нетоксического зоба среди подростков 15–17 лет

	ГОДЫ					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
зарегистрировано всего	821	675	534	567	599	485
численность населения	41301	36353	33650	36607	31731	30067
распространенность на 1000	19,9	18,6	15,9	15,5	18,9	16,1

Таблица 4. – Заболеваемость диффузным (эндемическим) зобом, связанная с йодной недостаточностью и другими формами нетоксического зоба среди подростков 15–17 лет

	ГОДЫ					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
зарегистрировано впервые	143	67	115	119	155	46
численность населения	41301	36353	33650	36607	31731	30067
заболеваемость на 1000	3,5	1,8	3,4	3,3	4,9	1,5

Выводы: Согласно нашим результатам правильный режим дня присутствовал лишь у незначительной доли учащихся. Причем, у большинства респондентов, основной прием пищи по объему и калорийности приходится на вечернее время. По результатам опроса только 52% подростков включают в свой рацион свежие овощи и фрукты ежедневно. В рационе подростков преобладает углеводный компонент за счет картофеля, мучных и макаронных изделий. Таким образом, основные питательные вещества рационов подростков не сбалансированы по содержанию белков, жиров и углеводов. Охват групповой йодопрофилактикой в общеобразовательных школ с использованием йодсодержащих препаратов составлял 13,4%, что является недостаточным.

Следовательно, развитие профилактической составляющей медицинской помощи и пропаганда здорового образа жизни является одной из важнейших составляющих медицинской профилактики. Таким образом, необходимо совершенствовать программы школьного питания, учитывая региональные, национальные особенности и формировать стратегии по питанию и пропаганде здорового образа жизни подростков.

Список литературы:

1. Patton G. C., Ross A., Santelli J. S., Sawyer S. M., Viner R. M., Kleinert S., Next steps for adolescent health: a Lancet Commission, *Lancet*, – 2014; – 383: – 385–6, – doi:10.1016/S0140–6736 (14)60039–8.
2. Young people today: time to act now, Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, – 2013, Доклад о мировом развитии – 2007 г.; развитие и новое поколение, Вашингтон: Всемирный банк; – 2006 г, Положение детей в мире, – 2011 г.; подростковый возраст – возраст возможностей, Нью-Йорк: Детский фонд Организации Объединенных Наций; – 2011 г, Progress for children: a report card on adolescents, Number 10, New York: United Nations Children’s Fund; – 2012, Generation of change: young people and culture, New York; United Nations Population Fund; – 2008, Marrying too young – end child marriage, New York: United Nations Population Fund; – 2012.
3. Баранов А. А., Намазова-Баранова А. С., Альбицкий В. Ю., Терлецкая Римма Николаевна, Антонова Е. В., Состояние и проблемы здоровья подростков в России//Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины, – 2014, – № 6, – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sostoyaniye-i-problemy-zdorovya-podrostkov-v-rossii> (дата обращения: 24,11,2016),
4. Баранов А. А., Намазова-Баранова А.С, Ильин А.Г., Сохранение и укрепление здоровья подростков – залог стабильного развития общества и государства (состояние проблемы), *Вестник РАМН*, – 2014. – № 5–6: – 65–70.

5. Валеева Э.Р., Хамитова Р.Я, Риски формирования болезней среди учащихся образовательных учреждений, Гигиена и санитария, – 2006. – № 6.– С, 54–55.
6. Валеева Э. Р., Степанова Н. В., Камалова Ф. М., Серазетдинова Ф.И, Актуальные проблемы здоровья подростков Республики Татарстан, Современные проблемы науки и образования, – 2015. – № 6–0. – С. 239.
7. Валеева Э.Р., Степанова Н.В., Махмутова Э.Р., Региональные особенности заболеваемости подростков Татарстана, Гигиена и санитария, – 2015. – Т. 94. – № 4. – С. 70–72.
8. Глобальная рамочная программа ускоренных действий в отношении здоровья подростков «АА-НА», URL: http://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/adolescent-health-global-framework-brochure-ru.pdf?ua=1 ссылка
9. Глобальная стратегия охраны здоровья женщин, детей и подростков (2016–2030) URL: http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/global-strategy-women-children-health-ru.pdf?ua=1 В
10. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Татарстан в – 2015 году».
11. Журавлева И. В., Иванова Л. Ю. Улучшит ли Национальный проект «Здоровье» состояние здоровья подростков? Интернет конференция «Дети и молодежь» URL: <http://ecsocman.hse.ru/text/33372905/>

Mikhaylin Evgeny Sergeevich,
PhD, head of the Centre of pregnancy and childbirth in adolescents
“Young mother”, SPbSBI “Maternity hospital № 10”;
assistant of the department of obstetrics and gynecology,
North-Western State Medical University
named after I. I. Mechnikov
E-mail: mihailin@mail.ru

Chapter 5. Features of histological structure of placentas in minor females

Abstract: The article analyzes the features of histological structure of placentas in minor females compared with women of middle reproductive age. It was found that placentas in minor females are characterized by significant hypertrophy ($559,5 \pm 10,5$ g – $478,7 \pm 12,9$ g, respectively) and pathological immaturity (33,8%–4.0%) with a significant degree of circulatory injuries (40.5%–12.0%), reduction in the frequency of compensatory-adaptive reactions (86,5%–100%) and a greater frequency of inflammatory changes of both exudative and productive character (35,1%–0%).

Keywords: histology of placenta, pregnancy and childbirth in minor females, chronic placental insufficiency.

Introduction. The placenta is an essential component of the system “mother-placenta-fetus”¹ and serves as the object of histological investigation for a long time. The features of its development, compensatory and pathological reactions to various exogenous and endogenous impacts, including the cases with pathology of pregnancy, are widely represented in many domestic² and foreign³ manuals.

At the same time, pathomorphological features of placentas in young pregnant women are studied significantly insufficiently; and literature data have a fragmentary character. The authors denote principally a smaller volume and weight of placentas or more marked compensatory-adaptive reactions in placentas of minor pregnant women⁴.

Insufficiently comprehensive literature data and accumulated material served as the basis for the present study.

¹ Garmasheva N.L., Konstantinova H. H. Patofiziologicheskie osnovy okhrany vnutritrobnogo razvitiya cheloveka. L.: Meditsina; 1985. (In Russ.). P. 2.

² Milovanov A. P. Patologiya sistemy mat' – platsenta – plod: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 1999. (In Russ.). P. 3.

³ Benirschke K., Kaufman P. Pathology of the human placenta. – New York: Springer-Verlag, 1995.

⁴ Mgute S. D. The course of pregnancy and delivery, placental morphology in young nulliparous. Tr. Krymskogo GMI. 1976; 71: 7–8. (In Russ.). P. 9.

The objective of the present study was to examine the features of histological structure of placentas in minor pregnant women compared with women of middle reproductive age.

Materials and methods of research. In total, we examined 74 placentas of minor patients, who were divided into 2 groups. The first group included 8 placentas of patients at the age of 13–15 years, the second group — 66 placentas of patients at the age of 16–17 years. The comparison group consisted of 25 placentas from conditionally healthy women of middle reproductive age (20–30 years).

Placentas were studied according to the standardized scheme¹ that included macroscopic analysis, cutting of material and histological study. We conducted the weighing and examination of placentas. Moreover, we determined shape, number of lobes, type of vessel development and place of attachment of the umbilical cord. Cutting of material was done as follows: 6 pieces of placental tissue (2 — from marginal tissue, 2 — from paracentral tissue, and 2 — from central zones), fragment of the umbilical cord from middle part and the helix from membranes.

After sampling, the material was fixed in 10% solution of neutral buffered formalin within 24 hours. Then the samples were dehydrated in alcohols with increasing concentration (70–95%), placed in xylene and embedded in paraffin using the automatic station “Leica TP1020”. Paraffin sections with density of 3–7 micrometers were used for histological examination. Hematoxylin and eosin were used for survey staining. Placentas were estimated using light microscopy with Olympus CX-31 (Japan): structure of the villous tree, compensatory-adaptive reactions, structure of the vascular bed and the plates of placenta (basal, chorionic), presence or absence of inflammatory and dystrophic changes in placentas. Fetal membranes: ratio of anatomical components (amniotic layer, trophoblastic epithelium, decidua membrane), presence of inflammatory reaction and dystrophic changes. The umbilical cord: condition of Wharton’s jelly, number and condition of vessels, presence of inflammatory changes.

Statistical analysis of obtained data was performed using the program “STATISTICA 6.1” (Statsoft Inc., Tulsa, USA). Determination of reliability of differences in rates between the compared groups was performed using Fisher’s test (F) or Chi-square (χ^2) according to the standard formula, with account of Yates’ correction for paired comparisons and Bonferroni’ correction for multiple comparisons. In order to estimate differences of clinical parameters between different groups, we used Mann-Whitney U-test or Student’s T-test for independent samples.

Research results. The average age of patients in the first group amounted to $14,9 \pm 0,2$ years, in the second group — $16,2 \pm 0,2$, and the average age in the comparison group was $26,3 \pm 0,7$.

¹ Milovanov A. P. Patologiya sistemy mat’ – placenty – ploda: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 1999. (In Russ.).

The average gestational age by the time of delivery in the first group amounted to $39,1 \pm 0,2$ weeks, the weight of newborns was $3475,0 \pm 158,5$ g ($2740,0-4090,0$ g.), the length of newborns — $51,4 \pm 0,7$ cm, the values on the Apgar scale were estimated to be 7–8 scores. The weight of placenta amounted to $510,4 \pm 10,7$ g, the placental-fetal ratio was $0,16 \pm 0,01$.

The average gestational age by the time of delivery in the second group amounted to $39,2 \pm 0,2$ weeks, the weight of newborns was $3381,7 \pm 57,6$ g, the length of newborns — $51,2 \pm 0,3$ cm, the values on the Apgar scale were estimated to be 7–8 scores (6 scores — in one newborn). The weight of placenta amounted to $561,1 \pm 10,9$ g, the placental-fetal ratio was $0,17 \pm 0,01$.

The significant difference between the abovementioned parameters in the first and second groups were not detected ($p > 0,05$).

The average gestational age by the time of delivery in the comparison group (women of middle reproductive age) was $39,4 \pm 0,2$ weeks, the weight of newborns — $3492,4 \pm 42,5$ g ($3170,0-3830,0$ g), the length of newborns was $51,7 \pm 0,3$ cm, the values on the Apgar scale were estimated to be 7–8 scores. The weight of placenta amounted to $478,7 \pm 12,9$ g, the placental-fetal ratio was $0,14 \pm 0,003$.

Table 1 presents main clinical and morphological features of the fetal-placental system in minor pregnant women (all minor females were at the age of 13–17 years, without division into groups by age (considering the lack of significant differences on the first stage)) and in women of middle reproductive age.

Table 1. – Clinical and morphological features of the fetal-placental system in minor pregnant females and women of middle reproductive age

	Minor females (n=74)	Women of middle reproductive age (n=25)
Age, years	$16,3 \pm 0,2$	$26,3 \pm 0,7$
Delivery date, weeks	$39,2 \pm 0,2$	$39,4 \pm 0,2$
Weight of newborns, g	$3391,8 \pm 53,9$	$3492,4 \pm 42,5$
Length of newborns, cm	$51,3 \pm 0,3$	$51,7 \pm 0,3$
Apgar scale, scores	7–8	7–8
Weight of placenta, g	$559,5 \pm 10,5^*$	$478,7 \pm 12,9$
Fetal-placental ratio	$0,17 \pm 0,003^*$	$0,14 \pm 0,003$

* $p < 0,001$

As can be seen in the table above, the average delivery date, weight and height of newborns and Apgar scale values did not have significant differences between minor females and women of middle reproductive age.

It should be noted that the weight of placentas in the group of minor females amounted to $559,5 \pm 10,5$ g and was significantly bigger than the weight of placentas

from women of middle reproductive age ($478,72 \pm 12,9$) ($p < 0,001$). The placental-fetal ratio in the group of minor females made up 0.17 ± 0.003 and was also significantly higher compared with the group of women of middle reproductive age ($0,14 \pm 0,003$) ($p < 0.001$).

Our results contradict the literature data¹, which indicate a significant decrease in the weight of placentas obtained from minor pregnant women compared with women of middle reproductive age.

The afterbirth is a provisional organ of the fetus and consists of placenta, fetal membranes and umbilical cord. In the mature placenta that corresponds to the full-term pregnancy (37–41 weeks) the predominant generation of villi is represented by terminal chorionic villi that comprise 60–80% out of the total number of villi. Villi of intermediate type make up about 15–30%, while mature forms of intermediate villi constitute the highest percentage, and intermediate immature villi amount to only 3–5%. Moreover, in the structure of villous tree there are stem villi and anchoring villi, which in total constitute about 5–10% (Figure 1).

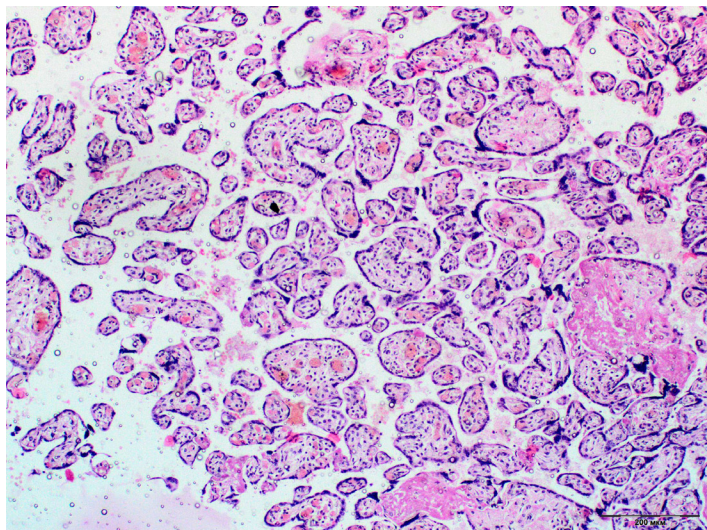


Figure 1. Histological structure of normal placenta in healthy 24 year old woman in case of full-term gestational age. Terminal development of villous tree with moderate blood filling of the villous vascular bed. Hematoxylin and eosin, $\times 100$

The histological examination of placentas in women from the first group (minor females aged from 13 to 15 years) revealed that they corresponded to gestational age in 7 cases (87,5%) and were characterized by terminal development of the villous tree.

¹ Tarasova N. S. Clinico-morphological features of placentas in young nulliparous women. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. 2006;4 (36):80–84. (In Russ.). P. 10.

In 1 placenta (12,5%) we detected chronic placental insufficiency of dissociated form, compensated stage with persistence of intermediate mature chorionic villi in the structure of villous tree and decrease of the number of terminal villi.

On the part of the vascular bed, we marked the prevalence of a moderate degree of circulatory injuries with moderate, in some places uneven, blood filling of the arterial-venous bed. The state of capillary bed of chorionic villi had no pathological changes. In 3 cases (37,5%) the circulatory injuries were strongly marked and were characterized by hypervascularization of the capillary-venous bed mainly of intermediate and terminal chorionic villi with diapedesis of erythrocytes in the *villous* stroma. In addition, we marked the unevenly marked spasm of arteries mainly of stem villi and uneven blood filling of intervillous space.

In all examined placentas we observed moderate compensatory-adaptive changes with a small number of syncytial knots and preservation of lumen of the intervillous space.

Inflammatory changes in placentas were identified in 2 cases (25,0%) and had exudative character. In 1 case (12.5%) we marked inflammatory changes with presence of polymorphonuclear leukocytes in fetal membranes and placenta with formation of parietal exudative choriodecidua and exudative subchorionic intervillitis. In addition, in 1 case (12.5%) inflammatory changes affected not only fetal membranes and placenta, but also had exudative character in the umbilical cord with development of exudative phlebo-funiculitis.

Histological examination of placentas from women of the second group (minor females at the age of 16–17 years) showed that the villous tree structure of placenta corresponded to the gestational age in 42 cases (63,7%). Chronic placental insufficiency was diagnosed in 24 cases (36.3%) and had dissociated and hyperplastic types in compensated and (in 1 case — 1,5%) sub-compensated forms of placental insufficiency. Circulatory injuries in mature placenta that corresponded to the gestational age were presented by marked, moderate and mild degrees of manifestations. Moderate and marked degrees of circulatory injuries were detected in nearly the same percentage of cases (40.5% and 45.2%, respectively), however, it should be noted that the marked degree of changes in the villous vascular bed was detected in 5 cases (55,6%) in placentas after cesarean section and presented reactive changes after artificially created acute disorders of utero-placental circulation. Mild degree of circulatory injuries was identified in 8 examined placentas (19,0%). Moderate degree of circulatory injuries was manifested by normal ratio of venous-capillary vessels without pathological changes in the arterial bed, which was marked by uneven blood filling.

It should be noted that chronic placental insufficiency represents a complex response of the fetus and placenta to the influence of pathologies in maternal organism with possible formation of “fetal growth retardation” syndrome. Dissociated form

of chronic placental insufficiency was detected in 20 cases (83,3%) out of the total number of cases with chronic placental insufficiency in the second group and was characterized by dysmaturity of the villous tree with persistence of intermediate mature chorionic villi and reduction in the number of terminal villi (Figure 2). Hyperplastic type of chronic placental insufficiency was diagnosed in 4 cases (16.7%), where the presence of terminal villi of the villous tree constituted more than 80,0% out of the total volume of the examined placental fragments. In this case the terminal villi had a small size, and most of them were characterized by a reduced number of capillaries (2–3). Compensated condition of placentas was marked by birth of a child with normal values on the Apgar scale — at least 8 scores.

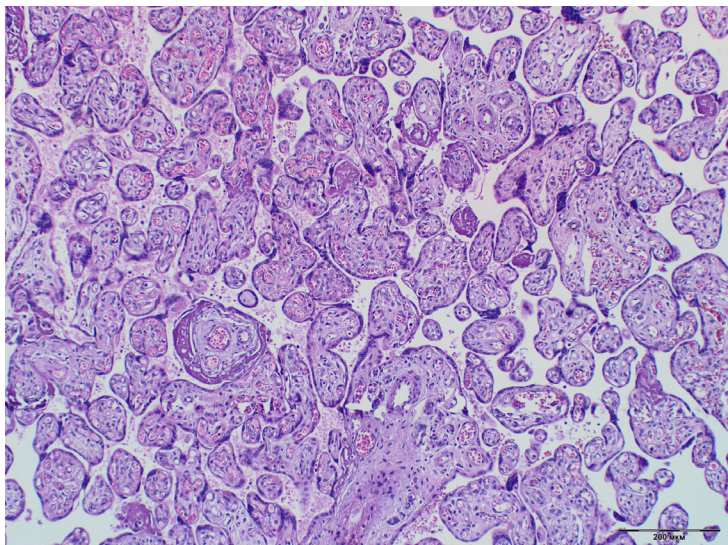


Figure 2. Chronic placental insufficiency, compensated stage. Predominantly, intermediate development of the villous tree with sclerosis of the villous stroma. Hematoxylin and eosin, $\times 100$

In 1 case (1,5%) we detected the dissociated form of placental insufficiency in the sub-compensation stage with marked circulatory injuries and birth of alive full-term baby with hypertrophy of I degree, extracted by caesarean section, with 7 scores on the Apgar scale.

Estimation of the circulatory bed in placentas with chronic placental insufficiency revealed a predominance of moderate degree of circulatory injuries in more than half of the cases (13 cases — 54,2%) with uneven blood filling of vessels of all levels, without formation of arterio-venous anastomoses.

It should be noted that in 1/3 of all cases (8 cases — 33,3%) we detected the marked circulatory injuries with hypervascularization of chorionic villi of intermediate

and terminal types with paresis and plethora of the vascular bed. As for the intervillous space, we observed uneven plethora. In 1 case (1,5%) there were minor changes in blood supply of the chorionic villi.

The study of compensatory-adaptive changes in placentas showed mostly a moderate degree of manifestations in 56 cases (84,8%) and was characterized by a small number of syncytial knots, preservation of the intervillous space lumen with a moderate blood filling, and absence of ischemic and hemorrhagic infarctions (Figure 3).

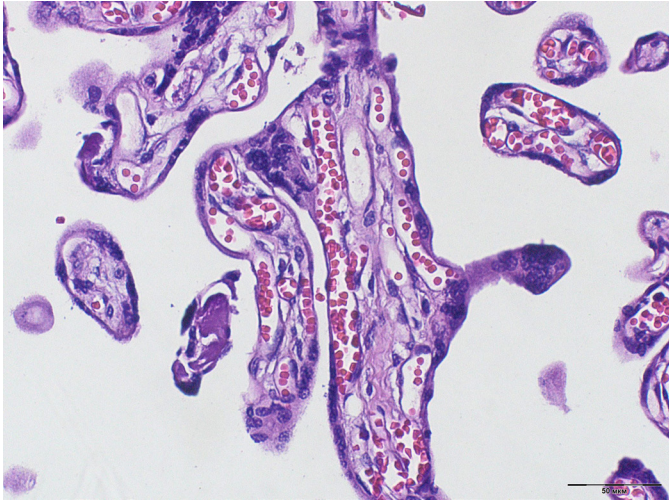


Figure 3. Villous tree of placenta with syncytial buds and emerging syncytial knots. Hematoxylin and eosin, $\times 400$

Inflammatory changes in placentas of the study group were identified in 24 cases (36.4%) and had exudative and productive character (17 cases (25,8%) and 7 cases (10,6%), respectively). The detection rate of exudative inflammatory process, that affected only fetal membranes (bacterial contamination of the 1 stage — membranous) and all components of placenta (bacterial contamination of the 3 stage — umbilical), was much the same: 6 cases (9,1%) for the membranous stage and 7 cases (10.7%) for the umbilical stage of bacterial inflammation. In the structure of exudative inflammatory process we observed the predominance of affection of fetal membranes (parietal choriondecidua and membranitis) and placenta (subchorionic intervillitis, placental chorioamnionitis) — in 10 cases (15,2%), while inflammatory changes in the umbilical cord (phlebo-funiculitis and vascular-stromal funiculitis) were detected in 7 cases (10,6%).

Hematogenous infection in placentas was diagnosed in 7 cases (10,6%) and was manifested by development of disseminated productive villusitis in 3 cases (4,5%) and development of productive deciduitis with parietal and basal localization in 4 cases (6,1%) out of the total number of inflammatory changes in the study group (Figure 4).

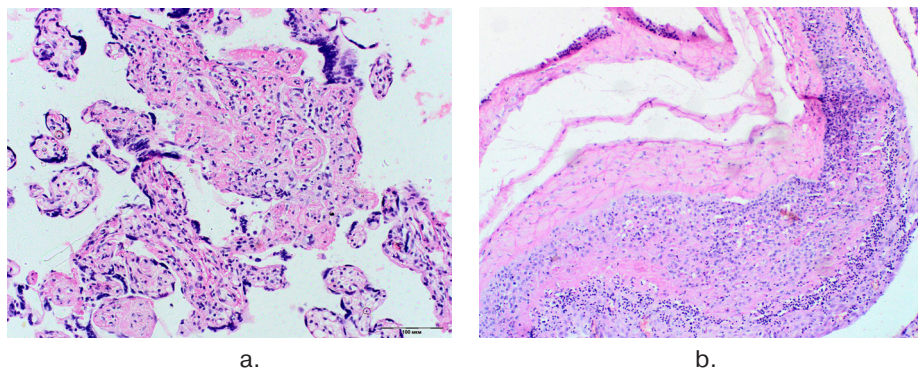


Figure 4. Hematogenous infection of placenta.

a — productive villusitis and destruction of chorionic villi.

b — parietal productive deciduitis. Hematoxylin and eosin, ×100

It should be noted that in 2 placentas (3,0%) we detected abnormal development of the umbilical cord in the form of agenes of one of its arteries.

Table 2. – Main histological features of placentas in minor pregnant women and women of middle reproductive age

	Minor females (n=74)	Women of middle reproductive age (n=25)
Terminal development of the villous tree (placenta corresponds to the gestational age)	49 (66,2%)**	23 (93,0%)
Degree of circulatory injuries		
– mild	14 (19,0%)	4 (16,0%)
– moderate	30 (40,5%)	18 (72,0%)
– marked	30 (40,5%)**	3 (12,0%)
Compensatory-adaptive changes (moderate)	64 (86,5%)*	25 (100%)
Chronic placental insufficiency	25 (33,8%)**	1 (4,0%)
– dissociated form	21 (28,4%)*	1 (4,0%)
– hyperplastic form	4 (5,4%)	0
Inflammatory changes	26 (35,1%)**	
– exudative inflammation	19 (25,7%)	
– 1 stage (membranous)	6 (8,1%)	
– 2 stage (affection of membranes and placenta)	7 (9,5%)	0
– 3 stage (umbilical)	6 (8,1%)	
– productive inflammation	7 (9,5%)	

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

We did not detect any significant differences in frequencies of various histological features between the first group (13–15 years) and the second group (16–17 years) ($p > 0.05$).

Histological examination of placentas of women from the comparison group (women of middle reproductive age) revealed the structure of placentas with terminal development of the villous tree, what corresponded to the gestational age in 23 cases (92,0%). Condition of the circulatory bed was represented primarily by moderate (18 cases – 72,0%) and mild (4 cases – 16,0%) degree of changes in the vascular bed.

In 3 placentas (12,0%) after the planned caesarean section we revealed a marked degree of circulatory injuries, caused by operative treatment.

Compensatory-adaptive changes had a moderate degree of manifestation in all placentas. Chronic placental insufficiency was diagnosed in 1 placenta (4%) in dissociated form, compensated stage. Inflammatory changes in placentas of the study group were not detected.

Table 2 presents main histological features of placentas in minor pregnant women (all minor females were at the age of 13–17 years, without division into groups by age) and women of middle reproductive age.

Discussion. Most often, according to the literature data¹, in placentas of young women we morphologically revealed the predominance of intermediate differentiated villi, which are similar to histogenesis of placentas during 21–32 weeks of gestation, when leap in the development of intermediate branches normally takes place². Another variant of pathological immaturity is predominance of chaotic sclerosed villi, which occurs nearly during 25–30 weeks as a result of dyschronosis in the formation of small villi and obvious development delay of their capillary bed³. Our results confirm the data obtained by N. S. Tarasova, who noted that most of pregnant minor females were diagnosed with pathological immaturity of the villous tree⁴, what denotes evidently troubled gestation course in II and especially III trimester, what chronologically coincides with the time when most complications with pregnancy occur.

Condition of the circulatory bed in the group of minor females was presented mainly by marked and moderate degree of changes in the vascular bed, while condition of the circulatory bed in the group with women of middle reproductive age was presented mainly by moderate and mild degree of changes in the vascular bed.

¹ Tarasova N. S. Clinico-morphological features of placentas in young nulliparous women. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. 2006;4 (36):80–84. (In Russ.).

² Milovanov A. P. Patologiya sistemy mat' – platsenta – plod: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 1999. (In Russ.).

³ Ibid. P. 9.

⁴ Tarasova N. S. Clinico-morphological features of placentas in young nulliparous women. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. 2006;4 (36):80–84. (In Russ.).

Compensatory-adaptive changes in placentas of minor females were revealed significantly less seldom ($p < 0.05$) than in placentas of women of middle reproductive age and were moderate in all cases with a small number of syncytial knots.

The increase in the number of syncytia-capillary membranes in villi provides a significant growth in diffusion capacity of placenta, intensification of transport of amino acids, microelements, vitamins and other nutritional substances through the placental barrier¹. The above-mentioned finishing reconstruction of terminal villi with a sharp increase of their vascularization serves as a particular indicator of compensatory possibilities of the villous tree and indirectly characterizes readiness of the fetus to enter into new ecological conditions. Such finishing reconstruction of the villous tree does not occur in young women, or it is carried out insufficiently, because the specialized terminal villi are found in young females significantly less seldom than in adult women².

Chronic placental insufficiency in minor females was detected significantly more often ($p < 0.01$) compared with women of middle reproductive age. The dissociated form with dysmaturity of the villous tree, persistence of intermediate mature chorionic villi and decrease in the number of terminal villi were found to be a predominant form of chronic placental insufficiency in the group of minor females.

Our results were comparable with the data obtained by N. S. Tarasova, who indicated the leading role of unfavorable variant ratio of morphological immaturity of villi and reduction in the amount of specialized terminal villi and therefore deficit of *syncytium*-capillary membranes³.

Inflammatory changes in placentas of minor females were identified in 35.1% of cases, whereas inflammatory changes were not identified in placentas from women of middle reproductive age. The exudative process served as a predominant form of inflammation in placentas in every fourth case, while productive inflammation was diagnosed in every tenth patient. The affection of fetal membranes (parietal choriodecidua and membranitis) and affection of placentas (subchorionic intervillitis, placental chorioamnionitis) prevailed in the structure of exudative inflammatory process in 10 cases (13,5%), while inflammatory changes in the umbilical cord (phlebo-funiculitis and vascular-stromal funiculitis) were detected in 7 cases (9.5%). Hematogenous infection in placentas was diagnosed in every tenth case and was manifested by development of disseminated productive villusitis and productive deciduitis with parietal and basal localization.

¹ Milovanov A. P. Savel'ev C. B. Vnutriutrobnoe razvitiye cheloveka: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 2006. (In Russ.).

² Tarasova N. S. Clinico-morphological features of placentas in young nulliparous women. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. 2006;4 (36): 80–84. (In Russ.).

³ Ibid.

Conclusion. According to the results of histological examination of placentas in minor females and women of middle reproductive age, we revealed that these groups had no significant differences in weight/height indicators of children and their values according to the Apgar scale. However, the research results showed that histological structure of placentas in minor pregnant women compared with women of middle reproductive age is characterized by a significant hypertrophy, pathological placental immaturity and a significantly greater rate of chronic placental insufficiency with marked degree of circulatory injuries. In placentas of minor females the degree of compensatory-adaptive reactions was lower, and inflammatory changes were detected significantly more often. Chronic placental insufficiency at the time of birth of the child, which is detected significantly more often in minor patients, may influence the violation of adaptive mechanisms and the quality of life of children in postnatal period. Moreover, it should be noted that the placental weight and placental-fetal ratio in the group of minor females compared with women of middle reproductive age were significantly higher, what may point at unfavorable conditions of prenatal fetal development and fetal-placental interrelationships in minor pregnant women.

References:

1. Garmasheva N.L., Konstantinova H. H. Patofiziologicheskie osnovy okhrany vnutritrobnogo razvitiya cheloveka. L.: Meditsina; 1985. (In Russ.).
2. Milovanov A. P. Patologiya sistemy mat' – platsenta – plod: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 1999. (In Russ.).
3. Gurkin Yu. A., Susloparov L. A., Ostrovskaya E. A. Osnovy yuvenil'nogo akusherstva. SPb.: Foliant; 2001. (In Russ.).
4. Kalashnikova E. P. Morphological aspects of adaptation of the fetus-placenta system under various conditions of fetal development. *Vetnik AMN SSSR*. 1987;1:11–17. (In Russ.).
5. Milovanov A. P. Savel'ev C. B. Vnutritrobnoe razvitie cheloveka: Rukovodstvo dlya vrachey. M.; 2006. (In Russ.).
6. Tsirel'nikov N. I. Gistofiziologiya platsenty cheloveka. Novosibirsk: Nauka; 1980. (In Russ.).
7. Benirschke K., Kaufman P. Pathology of the human placenta. – New York: Springer-Verlag, 1995.
8. Mgute S. D. The course of pregnancy and delivery, placental morphology in young nulliparous. *Tr. Krymskogo GMI*. 1976; 71:7–8. (In Russ.).
9. Tarasova N. S. Clinico-morphological features of placentas in young nulliparous women. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov*. 2006;4 (36):80–84. (In Russ.).

*Stepanova Natalya Vladimirovna,
“Kazan (Volga) Federal University”
Institute of Fundamental Medicine and Biology, MD, Ph. D., Professor
E-mail: stepmed@mail.ru*

*Fomina Suryana Faritovna,
“Kazan (Volga) Federal University”
Institute of Fundamental Medicine and Biology, graduate student*

*Yusupova Naila Zufarovna,
Kazan State Medical Academy – Branch FGBOU DPO
Federal State Educational Institution of Additional Professional Education
of the Russian Medical Academy
of Postgraduate Continuing Education of the Ministry
of Health of the Russian Federation,
Deputy Director for Academic Affairs, head of the department
of general hygiene, MD, associate professor*

*Khairullina Lily Rifkatovna,
Kazan State Medical Academy –Branch FGBOU DPO
Federal State Educational Institution of Additional Professional Education
of the Russian Medical Academy of Postgraduate
Continuing Education of the Ministry
of Health of the Russian Federation, associate professor*

Chapter 6. Risk assessment and age sensitivity to chemicals from drinking water

*Степанова Наталья Владимировна,
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»
Институт фундаментальной медицины и биологии,
г. Казань, доктор медицинских наук, профессор
E-mail: stepmed@mail.ru*

*Фомина Сурьяна Фаритовна,
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»
Институт фундаментальной медицины и биологии,
г. Казань, аспирант*

*Юсупова Наиля Зуфаровна,
Казанская государственная медицинская академия – филиала
ФГБОУ ДПО Российская Медицинская Академия
Непрерывного Последипломного Образования МЗ РФ,
заместитель директора по учебной работе,
заведующий кафедрой общей гигиены,
доктор медицинских наук, доцент*

*Хайруллина Лилия Рифкатовна,
Казанская государственная медицинская академия – филиала
ФГБОУ ДПО Российская Медицинская Академия
Непрерывного Последипломного Образования МЗ РФ, доцент*

Глава 6. Оценка риска и возрастная чувствительность к действию химических веществ, поступающих с питьевой водой

Внедрение в практику Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека новых эффективных наукоемких инструментов, обеспечивает управление санитарно-эпидемиологической обстановкой на региональном и муниципальном уровнях. Один из таких инструментов — методология анализа рисков здоровью населения, связанных с негативным воздействием неблагоприятных факторов среды обитания. Указанная методология, позволяет использовать надежные количественные оценочные критерии и широко применяется в странах Евросоюза, США, Канаде и ряде других государств с целью обеспечения безопасности для здоровья человека среды обитания, продукции, производственных технологий и процессов, в том числе при гармонизации законодательных основ, правовых норм, санитарно-гигиенических стандартов и требований¹.

На сегодняшний день, крайне важным является выполнение работ по оценке риска с развитием методов формирования доказательной базы реализации рисков для здоровья в виде поражений здоровья (через эпидемиологические или углубленные медико-биологические исследования). Оценка риска позволяет значительно сузить круг поиска, как факторов воздействия, так и вероятных нарушений здоровья экспонируемого населения и существенно сэкономить время и средства на сбор доказательной базы, подтверждающей наличие вреда здоровью. В последние десятилетия внимание всего мирового сообщества привлечено к проблеме

¹ Онищенко Г.Г. Оценка и управление рисками для здоровья как эффективный инструмент решения задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации // Анализ риска здоровью. 2013. № 1 С. 4–14.

оценки влияния факторов окружающей среды на здоровье детей. Многочисленные исследования показывают, что воздействие одних и тех же химических веществ может вызывать различные эффекты для здоровья взрослых и детей¹. Экспозиция детской популяции к загрязняющим веществам окружающей среды значительно отличается от таковой у взрослых в силу различных причин, связанных с активностью и поведением, питанием детей, физиологическими особенностями метаболизма, проницаемостью кожных покровов и т. д. Анализ исследований по оценке риска в нашей стране и Республике Татарстан показал наличие методических и токсикометрических проблем, приводящих к недооценке фактического уровня риска здоровью детского населения, связанных с неопределенностями оценки экспозиции, отсутствием региональных и возрастных различий в факторах экспозиции и чувствительности к канцерогенам. Как показывают исследования, детская восприимчивость к загрязнителям окружающей среды может существенно варьироваться в зависимости от стадии жизни². Принятие Агентством по охране окружающей среды США (US EPA, 2005 а) стандартного набора возрастных групп детства доказывает важную роль в улучшении нашей способности защищать детей при более последовательном рассмотрении изменения жизненного этапа при оценке воздействия, дозы и риска. В настоящем докладе рассматриваются уникальные модели поведения детей, как грудное вскармливание, ползание, особенности поведения и деятельности. Важность рассмотрения различий ранней жизни в экспозиции и риска была ясно продемонстрирована в документе EPA “Drinking Water: Perchlorate Supplemental Request for Comments” (Federal Register, 2009). Документ предусматривает альтернативные уровни справочных показателей (уровень воздействия, ниже которого нет существенного риска не связанного с проявлениями ожидаемого рака) для различных стадий жизненного цикла. EPA обнаружили, что маленькие дети были в наибольшей опасности, когда их относительное воздействие рассматривалось со ссылкой здоровья уровней на порядок ниже, чем те, которые основаны на методах оценки для взрослых. В своем Дополнительном Руководстве Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens (EPA, 2005 с), Агентство по охране окружающей среды разработало второй, дополнительный набор детских возрастных групп,

¹ Stepanova N. V. E. R. Assessment and Zoning of the Urban Area According to The Level of Heavy Metal Pollution/N. V. Stepanova, S. F. Fomina, E. R. Valeeva//Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7(6). – P. 1148 – 1157; Унгурияну Т. Н., Новиков С. М. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы)//Гигиена и санитария. – 2014. – № 1. – С. 19–24.

² Firestone M. Protecting children from environmental risks throughout each stage of their childhood//Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. – 2010. – V. 20. – P. 227–228; – doi:10.1038/jes.2010.10

основанный на токсикологической чувствительности к канцерогенам, действующим через мутагенный способ действия¹. Когда данные доза-реакция по конкретным химическим веществам не доступны, руководство рекомендует использовать корректировки жизненного этапа на основе канцерогенного значений потенции (то есть потенциал, чтобы вызвать рак) для следующих возрастных групп (из — за ограниченности данных, EPA был вынужден консолидировать более расширенный набор возрастных групп, используемых при оценке воздействия детства). При повторных исследованиях воздействия мутагенных химических веществ в постнатальном и взрослом возрасте обоснованы пересчетные коэффициенты для количественной оценки канцерогенного потенциала с учетом возраста (поправочные возрастные коэффициенты, age-dependent adjustment factor — ADAF). Поправочные возрастные коэффициенты, согласно рекомендациям US EPA, основаны на заключении о том, что канцерогенные риски в целом выше при экспозициях в ранние периоды жизни по сравнению с аналогичными экспозициями в более старшем возрасте. Для экспозиций в возрасте от 0 до < 2 лет ADAF равен 10, от 2 < 16 лет — 3. Для экспозиций после 16-лет и старше ADAF не применяется. Руководство рекомендует использовать возрастные поправочные коэффициенты (ADAFs) для тех случаев, когда химические конкретные данные отсутствуют при оценке риска развития рака, но только для канцерогенов, которые действуют мутагенным способом действия. Современное понимание биологических процессов, вовлеченных в канцерогенез приводит к разумному осознанию того, что дети более восприимчивы к некоторым канцерогенным агентам, чем взрослые². Некоторые аспекты потенциально могут привести к повышенной восприимчивости детей младшего возраста. Более частое деление клеток в процессе развития способствует усилению фиксации мутаций из — за сокращения времени, доступного для ремонта повреждений ДНК, и, соответственно, клональная экспансия мутантных клеток дает большую популяцию мутантов³. Некоторые компоненты иммунной системы не полностью функциональны в процессе развития, а гормональные системы работают на разных уровнях на различных этапах жизни⁴. Индукция аномалий

¹ Supplemental guidance for assessing susceptibility from early Life exposure to carcinogens: EPA/630/R-03/003F March 2005.

² Barton H.A., Coglianò V.J., Flowers L., Valcovic L., Setzer, R.W., & Woodruff T.J. (2005). Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens. *Environmental Health Perspectives*, – 113(9), – 1125–1133. URL: <http://doi.org/10.1289/ehp.7667>

³ Slikker W. III, Mei N. Chen T. N-Ethyl-N-nitrosourea (ENU) increased brain mutations in prenatal and neonatal mice but not in the adults. *Toxicol Sci.* – 2004; 81(1):112–120.

⁴ Anderson L.M., Diwan B.A., Fear N.T., Roman E. Critical windows of exposure for children's health: cancer in human epidemiological studies and neoplasms in experimental animal models. *Environ Health Perspect.* – 2000; – 108(suppl 3): – 573–594.

развития может привести к предрасположенности к канцерогенным эффектам в дальнейшей жизни. Наконец, теоретический анализ позволяет предположить, что дифференциальная восприимчивость будет зависеть, в частности, от способа действия (то есть, на каком этапе в процессе рака(ов) произошло химическое воздействие) и что средняя суточная доза может привести к недооценке или переоценивать риск рака, когда риски зависят от времени действия¹. Хотя нет ни одного «правильного» набора возрастных групп, принятие общей конвенции для определения возрастных групп позволило ученым лучше понять различия в подверженности к риску через этапы жизни и факторы, которые могут учесть такие различия, как состояние питания, распространенность некоторых заболеваний, этнических/культурных норм в отношении паттернов активности или поведения, генетических характеристик населения, метеорологических условий, географии и социального стресса. Есть и другие этапы жизни, помимо детства, которые может быть важно учитывать при оценке воздействия и риска человека, включая беременность, уход за больными, и старость.

Таким образом, разработка и применение информации для реализации оценки детского риска для здоровья на основе стандартных и региональных факторов экспозиции является актуальной областью научного исследования.

Основным документом в РФ, в котором изложены принципы выполнения оценки риска для здоровья является Руководство Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». На сегодняшний день, очевидно, что решение задачи внедрения интегральной гигиенической оценки качества питьевой воды невозможно без научного обоснования и разработки новых методов оценки ее безвредности с учетом канцерогенных и неканцерогенных эффектов химических веществ, которые должны соответствовать современному уровню знаний в области общенаучной методологии оценки риска здоровью населения. Применяемые при оценке риска подходы позволяют к тому же выявить конкретные источники и причины загрязнения среды обитания, определить долевые вклады путей поступления и конкретных факторов опасности. Из химических факторов, загрязняющих питьевую воду, серьезную опасность из-за возможности нарушения состояния здоровья, в том числе метаболических нарушений (патологии жирового и углеводного обмена), при хроническом пероральном поступлении представляют тригалометаны, в частности хлороформ². Хлор и его соединения

¹ Goddard MJ, Krewski D. The future of mechanistic research in risk assessment: where are we going and can we get there from here? *Toxicology*. – 1995; – 102:53–70.

² Ожирение и избыточный вес: информационный бюллетень ВОЗ – № 311. Январь – 2015 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/ru/> (дата обращения: 17.01.2017).

при поступлении в организм в процессе биотрансформации образуют более токсичные, по сравнению с исходными загрязнителями, метаболиты, способные преодолевать гематоэнцефалический и плацентарный барьеры, кумулироваться в жировой ткани, путем алкилирования и (или) стимуляции перекисного окисления липидов, повреждать плазматические и внутриклеточные мембраны, запуская кальциевые механизмы гибели клеток и нарушение липидного обмена. Повышенное содержание в питьевой воде хлорорганических соединений (ХОС) является значимой причиной опасности для здоровья населения, увеличивает уровень общей и детской заболеваемости, является фактором риска развития патологии регуляторных систем и основных видов обмена¹. Исследования обосновали генетические показатели чувствительности к воздействию хлороформа для диагностики метаболических нарушений и реализации технологий профилактики избыточности питания и ожирения (МКБ: E67.7–66.0) у детей, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием хлорорганических соединений².

Для оценки неканцерогенного риска использовали подход, основанный на безопасных (референтных) дозах и суммарные индексы опасности (ТНІ)³. Для оценки канцерогенного риска использовали среднесуточные пожизненные дозы (LADD), факторы канцерогенного потенциала (SF) и ADAF. Неканцерогенный и канцерогенный риск оценивали для факторов экспозиции (стандартных и региональных) на уровне медианы (Me), обычный диапазон экспозиции), и 95-го перцентиля (P95, максимально разумная экспозиция). За допустимый уровень неканцерогенных эффектов принимали значения ТНІ от 1,1 до 3,0, диапазон значений ТНІ от 3 до 6 рассматривали какстораживающий уровень риска, а ТНІ выше 6 — как высокий. Для канцерогенных эффектов допустимым уровнем риска являлось значение TCR, равное $1,0 \times 10^{-5}$.

Цель работы — оценить риск здоровью детского населения при поступлении химических веществ с питьевой водой на основе региональных и стандартных факторов экспозиции (Ф.Э). Оценку риска при поступлении химических веществ с питьевой водой (пероральный путь) проводили для детей в возрасте от 3 до 6 лет, проживающих в 4-х районах (зонах) г. Казань, что позволило минимизировать неопределенности, связанные со специфическими региональными

¹ Красовский Г. Н., Егорова Н. А. Хлорирование воды как фактор повышенной опасности для здоровья населения // Гигиена и санитария. – 2003. – № 1. – С. 17–21.

² Лужецкий К. П., Шур П. З., Устинова О. Ю., и др. Оценка индивидуального риска метаболических нарушений у детей при экспозиции хлороформом с питьевой водой // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 4 (12). – С. 28–35.

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920–04. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России; – 2004. – 143 с.

параметрами в оценке экспозиции, и учесть все аспекты сезонной и суточной деятельности из-за меньшей подверженности детей к внутригородской миграции. Выделение зон проводили на основании расположения постоянных постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха и обслуживающих эти районы детских поликлиник (№ 4, 6, 10, 11)¹. Оценку риска осуществляли по данным регионального информационного фонда (РИФ) социально-гигиенического мониторинга и результатам исследований, выполненных на базе аккредитованной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан».

Изучения местных факторов экспозиции выполнено в поперечном исследовании. Проведено анкетировано родителей (нянь, бабушек) 1250 детей (от 3 до 6 лет). Анкета, разработанная сотрудниками Института фундаментальной медицины и биологии К (П)ФУ, включала следующую информацию о факторах экспозиции: масса тела ребенка (кг), рост (см), количество потребляемой питьевой воды (л/сут), количество водных процедур (мытье рук) — (раз/сут), прием душа (ванны) — раз/неделю, продолжительность водных процедур (мин/сут), длительность воздействия (дней/год). При оценке ФЭ, связанных с питьевой водой, определено соотношение источников водопотребления населения. В структуре потребления питьевой воды городским населением преобладает водопроводная вода. Подача воды жителям Казани осуществляется от поверхностного водозабора «Волжский», подземных водозаборов и артезианских скважин. Водозабор «Волжский» обеспечивает питьевой водой 80% населения города, в том числе Кировский (1 зона) и Вахитовский районы (3 зона). Население Советского района (2 зона) пользуется питьевой водой смешанного характера («Волжский» водозабор и подземные водоисточники Аки, Азино и Солидарность). Приволжский район города (4 зона) обеспечивается смешанной водой из водозаборов «Мирный», «Танкодром» и «Волжский». Полученные в поперечном исследовании результаты показали, что дети в среднем, на уровне 95-го перцентиля (Perc) потребляют 2,0 л/сут, что соответствует значению стандартного фактора экспозиции (СФЭ) для взрослых. Масса тела у детского населения составила на уровне Me — 10,3 кг, а на уровне верхнего 95-го перцентиля (Perc) — превысила на 1,4 кг стандартное значение. Сравнение с данными Exposure Factors U. S. EPA (2011) показало снижение региональных факторов экспозиции (РФЭ) на уровне РФЭ_{Me} и РФЭ₉₅ (Perc), соответственно на 8,3 и 9,8 кг (табл. 1).

Годовая экспозиция городского детского населения г. Казань на уровне Me (296) меньше стандартного значения (350 дней в году), что значительно снижает величину хронической средней суточной дозы. Различия в средней продолжи-

¹ Степанова Н. В., Валева Э. Р., Фомина С. Ф. Подходы к ранжированию городской территории по уровню загрязнения тяжелыми металлами // Гигиена и санитария. – 2015. – № 94(5). – С. 56–61.

тельности годовой экспозиции на уровне 95-го (Перс) превысили СФЭ на 16 дней. Вклад отдельных ФЭ в расчет поступления химических веществ с питьевой водой выявил различия в величине среднесуточной дозы. Различия региональных ФЭ на уровне Ме и 95-го (Перс) составили в 2–3 раза.

Таблица 1. – Местные и стандартные факторы экспозиции детского населения г. Казани

Фактор экспозиции	Дети 3–6 лет		Дети 0–6 лет	Children 3 to <6 years	
	РФЭ		СФЭ	Exposure Factors U. S. EPA (2011)	
	Ме	95-й (Перс)		Ме	95th Percentile mL/day
Вес, кг	10,3	16,4	15,0	18,6	26,2
Количество потребляемой воды, л/сут (мл/сут)	1,0 (1000)	2,0 (2000)	1,0 (1000)	– 382 mL/day	– 999 mL/day
Продолжительность водных процедур, мин/сут	30,0	90,0	20,0	24,0	60,0
Длительность воздействия в году, дней	296	364	350	350	365

Изучено содержание 19 приоритетных химических загрязнителей, в том числе трех канцерогенов, в питьевой воде г. Казань за 2010–2015 гг. В связи с тем что распределение значений факторов экспозиции и концентраций загрязняющих веществ отличалось от нормального распределения, для их представления использовали 95-й процентиля (P95). Превышение гигиенических нормативов не являлось главным критерием приоритетности. Основным критерием было выявление соединений, частота обнаружения которых в пробах питьевой воды превышала 5% на всех исследованных территориях. Оценка неканцерогенного риска при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой выявила различия в уровне риска при региональных значениях в сравнении со СФЭ. Результаты оценки неканцерогенного риска при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой показали, что величина суммарного риска только в 1 зоне города соответствует допустимому уровню. Во всех других зонах, независимо от значения факторов экспозиции, суммарные коэффициенты опасности свидетельствуют о настораживающем и неприемлемых уровнях риска (табл. 2).

Неприемлемый уровень суммарного риска ($HI_{me} = 11,8$ и $9,9$; $HI_{95-го Перс} = 14,8$ и $12,5$) отмечается во 2 и 4 зонах на уровне медианы и 95-го процентиля (Перс). Значения суммарных индексов опасности, рассчитанные на уровне стан-

дартных ФЭ для детского населения (кроме 2 зоны (почки) и 4 зоны (кровь)), не превышают верхней границы референтного уровня (3,0). Оценка значений суммарных индексов опасности, рассчитанные на основе региональных факторов экспозиции (медианных концентраций и 95-го перцентиля (Pers) для детского населения г. Казань показала (кроме 1 зоны) превышение верхней границы референтного уровня (3,0) для трех систем: кровь, почки и сердечно-сосудистая система (рис. 1).

Таблица 2. – Коэффициенты опасности (HQ) для веществ однонаправленного действия

Вещества	HQ с использованием стандартных факторов экспозиции				HQ с использованием региональных факторов экспозиции (Me)				HQ с использованием региональных факторов экспозиции (95% Pers)			
	1з.	2з.	3з.	4з.	1з.	2з.	3з.	4з.	1з.	2з.	3з.	4з.
Алюминий	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07
Барий	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,06	0,08	0,04
Железо	0,17	0,36	0,40	0,15	0,26	0,55	0,61	0,23	0,33	0,70	0,77	0,28
Магний	0,14	0,37	0,49	0,28	0,21	0,56	0,75	0,42	0,27	0,70	0,94	0,53
Нитраты (по NO ₃)	0,39	1,00	1,04	2,35	0,59	1,51	1,58	3,57	0,75	1,90	1,98	4,48
Нитриты (по NO ₂)	0,03	0,13	0,26	0,13	0,05	0,19	0,39	0,19	0,06	0,24	0,49	0,24
Кадмий	0,09	0,08	0,08	0,00	0,14	0,12	0,12	0,00	0,17	0,15	0,15	0,00
Марганец	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00	0,02
Свинец	0,13	0,07	0,14	0,07	0,19	0,10	0,21	0,11	0,24	0,13	0,26	0,14
Стронций	0,11	0,07	0,10	0,07	0,16	0,10	0,15	0,11	0,21	0,13	0,19	0,14
Медь	0,07	0,06	0,05	0,09	0,11	0,09	0,08	0,14	0,13	0,11	0,10	0,18
Цинк	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	0,03	0,04	0,06
Фториды	0,32	0,50	0,61	0,41	0,48	0,76	0,92	0,62	0,60	0,96	1,16	0,78
Хлор	0,58	0,00	0,00	0,66	0,88	0,00	0,00	1,00	1,11	0,00	0,00	1,26
Нефтепродукты (сум)	0,04	4,25	0,21	2,15	0,06	6,45	0,32	3,27	0,07	8,10	0,41	4,11
Хлороформ	0,68	0,76	0,94	0,74	1,03	1,16	1,43	1,12	1,29	1,45	1,79	1,40
HI	2,79	7,76	4,40	7,19	4,24	11,79	6,69	10,93	5,33	14,8	8,4	13,7

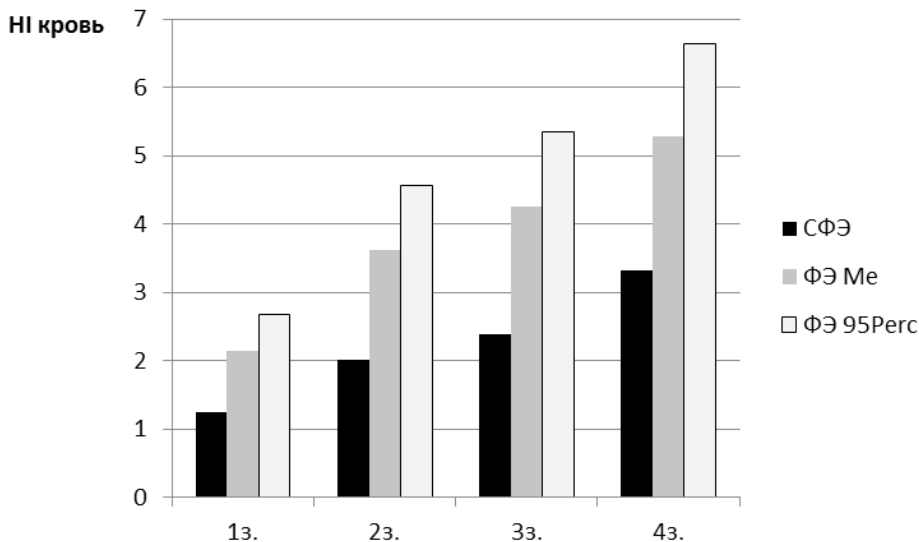


Рисунок 1. Суммарные индексы опасности (HI кровь) для веществ однонаправленного действия, рассчитанные с использованием СФЭ и РФЭ

Основной вклад в развитие общетоксических эффектов со стороны критических органов и систем, оказывают во 2 и 4 зонах нефтепродукты (от 29 до 54,7%), во всех зонах — хлороформ (от 10 до 30,6%) и нитраты (от 12,8 до 35,9%), в 3 зоне — магний (до 11,2%) и фториды в 1 и 3 зонах (от 13,7 до 14,3%).

Оценка канцерогенного риска проводилась для 3 веществ, содержащихся в питьевой воде (табл. 3).

Таблица 3. – Общие сведения о химических канцерогенах в питьевой воде.

CAS	Вещество	SFO (фактор наклона)	МАИР	ЕРА
			Группа канцерогенности	
7440–43–9	Кадмий	0,38	1	B1
7439–92–1	Свинец	0,047	2 А	B2
67–66–3	Хлороформ	0,0061	2 В	B2

В соответствии с классификацией МАИР кадмий относится к группе 1 — известные канцерогены для человека, свинец — к группе 2 А (вероятные канцерогены и хлороформ, к группе возможных канцерогенов. Суммарный канцерогенный риск при воздействии канцерогенов воды является допустимым только в 4-й зоне при всех изученных факторах экспозиции и при СФЭ во всех зонах. Использование РФЭ (кроме 4-й зоны) свидетельствует о превышении допустимого уровня (табл. 4).

Таблица 4. – Суммарный канцерогенный риск (TCR) для здоровья детского населения при воздействии канцерогенов питьевой воды

TCR	Зоны			
	1	2	3	4
РФЭ _{Me}	1,03E-05	9,35E-06	1,23E-05	7,4E-06
РФЭ _{95 Perc}	1,31E-05	1,17E-05	1,55E-05	9,3E-06
СФЭ	6,80E-06	6,15E-06	8,12E-06	4,87E-06
Различия, раз:				
РФЭ _{Me} /СФЭ	1,5	1,5	1,5	1,5
РФЭ _{95 Perc} /СФЭ	1,9	1,9	1,9	1,9

Расчет уровней канцерогенного риска для этих канцерогенных веществ проводился с использованием стандартных значений и региональных факторов экспозиции на уровне Me и 95-го perc. Различия в величине уровней канцерогенного риска составили 1,52 при ФЭ_{Me}/СФЭ и 1,91 при ФЭ_{95 Perc}/СФЭ. Основной вклад в величину канцерогенного риска во всех зонах вносит хлороформ (от 52% – 78%) и свинец (от 15% – 26%).

Среди трех канцерогенов содержащихся в питьевой воде города, по данным литературы, только кадмий и свинец обладают генотоксическим механизмом действия¹. Расчет уровней канцерогенного риска для этих канцерогенных веществ проводился с использованием поправочных коэффициентов для фактора канцерогенного потенциала. Хлороформ, содержащийся в питьевой воде не обладает прямым генотоксическим действием, поэтому канцерогенный риск для него рассчитывался без применения возрастных коэффициентов (табл. 5).

Таблица 5. – Суммарный канцерогенный риск (TCR) для здоровья детского населения при воздействии канцерогенов питьевой воды с учетом поправочных возрастных коэффициентов (age-dependent adjustment factor – ADAF)

TCR при:	Зоны			
	1	2	3	4
РФЭ _{Me}	2,02E-05	1,6E-05	2,21E-05	1,05E-05
РФЭ _{95 Perc}	2,54E-05	2E-05	2,77E-05	1,32E-05
СФЭ	1,33E-05	1,05E-05	1,45E-05	6,93E-06
Различия, раз с ADAF/без ADAF:				
РФЭ _{Me}	1,96	1,71	1,79	1,42
РФЭ _{95 Perc}	1,96	1,71	1,79	1,42
Стандартные ФЭ	1,96	1,71	1,79	1,42

¹ Худoley В.В. Канцерогены: характеристики, закономерности, механизмы действия / В.В. Худoley. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 1999. – 419 с.

В табл. 5 представлены значения общего суммарного канцерогенного риска (TCR) при воздействии трех канцерогенов питьевой воды — кадмия, свинца и хлороформа. TCR, рассчитанный с учетом ADAF, превышает допустимый уровень от 1,96 в 1 зоне и 1,7 (1,79) раз во 2 и 3 зонах на уровне всех значений экспозиции. В 4-й зоне отличия определяются в 1,42 раза. Сравнение результатов оценки канцерогенного риска, выполненное с учетом коэффициентов возрастной чувствительности по сравнению с традиционным подходом, выявило значительное различие в уровнях риска. TCR, рассчитанный с использованием возрастных коэффициентов, в 1,42–1,96 раза превышает уровни риска, полученные без учета восприимчивости к канцерогенам различных возрастных групп. Наиболее высокий уровень канцерогенного риска регистрируется в 1-й и 3-ей зонах на уровне 95 Perc (максимально разумная экспозиция).

Таким образом, сравнительная оценка стандартных, рекомендуемых US EPA и региональных значений факторов экспозиции (ФЭ), установленных на исследованных территориях (зонах) г. Казани, показала различия между большинством из них, достигающие для детского населения до 2–3,5 раз. Различия в региональных и стандартных значениях ФЭ влияют на уровни риска здоровью населения. Анализ уровней риска с использованием местных факторов и возрастных различий в экспозиции химических веществ, поступающих перорально с питьевой водой, показал, что применение стандартных значений в методологии оценки риска, приводит к недооценке фактического неканцерогенного и канцерогенного риска для здоровья детского населения в 1,5 раза (на уровне Me) и 1,9 раза (95-го перцентиля (Perc)). Значения общего суммарного канцерогенного риска (TCR) при воздействии трех канцерогенов питьевой воды — кадмия, свинца и хлороформа, рассчитанные с учетом ADAF, превышают уровни риска, полученные без учета восприимчивости к канцерогенам различных возрастных групп в 1,42/1,71 и 1,92 раза (в различных зонах) не зависимо от используемого фактора экспозиции. Высокая доля неудовлетворительных проб по алюминию, барию, железу, нитратам, нитритам, кадмию, марганцу, свинцу, стронцию, меди, цинка, нефтепродуктам, хлороформу обуславливают развитие неканцерогенных эффектов со стороны почек, сердечно-сосудистой системы и системы крови и неприемлемый канцерогенный риск здоровью детского населения.

*Zaporozhets Artur,
Institute of Engineering Thermophysics of NAS
of Ukraine, Researcher
E-mail: lektron2007@gmail.com*

*Redko Oleksandr,
National Aviation University, Lead Engineer
E-mail: ralex-sh@mail.ru*

*Zamurnjak Oleksandr,
National Aviation University, Engineer
E-mail: lionsas007@gmail.com*

Chapter 7. Monitoring the fuel combustion process based on actual measuring of oxygen concentration in the air

1. Introduction

Combustion process notably determines the reliability and efficiency of the boiler unit. One of the major purposes of the process of furnace operation is combustion control which provides support of the required power and efficiency of the unit.

Typically, the characteristic that determines the efficiency of the combustion process while burning any types of fuel in different flue devices is the excess air coefficient (EAC, α). While the operation in different modes of formation it's necessary to maintain the optimal EAC in which the summary loss of heat with gases and losses from chemical incomplete combustion is minimal.

However, it's necessary not only to support EAC, but also check its value periodically. Determination of the EAC, is usually determined by the composition of the combustion products, including the residual O_2 concentration in the outgoing flue gases:

$$\alpha = \frac{21}{21 - [O_2]_{out}}, \quad (1)$$

where $[O_2]_{out}$ — is the volume concentration of oxygen (VCO) in the outgoing flue gases, %.

For the efficient quality control of the combustion process it's possible to use various types of gas analyzers, their principle is mostly based on the formula (1), which states the VCO in the ambient air at level 21%.

However, it's indicated in the number of studies¹ that this level may vary depending on several parameters: temperature, pressure and humidity. Thus, the considered method for EAC determination in the gas analyzers contains a significant systematic error.

¹ Методика расчета количества кислорода в атмосферном воздухе на основе метеорологических

Error characterizes the imperfection of measurements (caused by inaccuracy of the measurers, the incompleteness of our knowledge about the phenomenon, difficulty of taking into account all incidental factors affecting the measurement). Their positive feature is accuracy.

The accuracy is the quality of measurements that reflects the closeness of the results to the actual value of the measured value. In metrology accuracy is usually characterized incidentally because of the measurement error — the more accurate is measurement, the lower is it's error.

In this work, by increasing the accuracy of EAC measurement it's necessary to understand the increasing of the proximity degree of the EAC value founded by the way of the indirect measurements EAC value with its real (conventionally true) value.

2. Analysis of the existing methods

Currently, there is a number of known methods for the determination of gaseous substances in the products of combustion boilers¹. They are divided into three categories: physical, chemical and physico-chemical (Fig.1). The use of mechanical methods to control gas mixture, despite the selectivity, universality and simplicity, is not acceptable because of the low accuracy, low sensitivity and a considerable length of the analysis time. The range of magnetic methods application is narrowed to the analysis of gases, which have paramagnetic properties (for example O₂, NO).

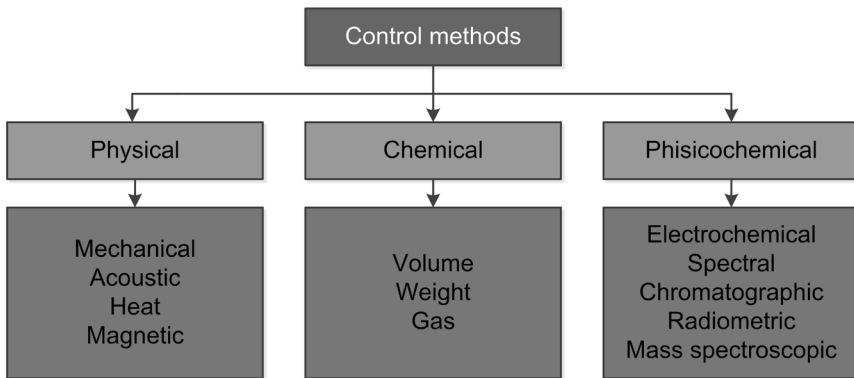


Figure 1. Classification of the methods of controlling the composition of gaseous substances

параметров с целью прогнозирования метеопатических эффектов атмосферы: [метод, рекомендации]/ Гл. упр. лечеб.-профилакт. помощи; сост. В. Ф. Овчарова. – М.: МЗ СССР. – 1983. – 13 с.

¹ Kouprianov, V.I. Applications of a cost-based method of excess air optimization for the improvement of thermal efficiency and environmental performance of steam boilers/V.I. Kuprianov//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2005. – Vol. 9, Issue 5. – P. 474–498; Kouprianov, V.I. Optimization of excess air for the improvement of environmental performance of a 150 MW boiler fired with Thai lignite/V.I. Kouprianov, V. Tanetsakunvatana//Applied Energy. – 2003. – Vol. 74, Issue 3–4. – P. 445–453.

Thermal methods of analysis are characterized by non-linearity calibration characteristics, electric dependence of thermal conductivity on the ambient conditions (temperature of the gas environment, atmospheric pressure fluctuations, velocity of the gas exchange, etc.) and large inertia.

Acoustic methods are based on measuring the absorption or velocity of sound propagation and ultrasonic waves in a gas mixture. This method is not selective, and is usually used only to determine CH_4 , O_2 , H_2 in binary and pseudo binary blends.

Thus, the use of physical methods class is impractical in the gas analysis in the determination of the wide range of materials (especially at low concentrations).

Determining the quantitative characteristics of weight and volumetric methods of chemical analysis sometimes causes difficulties, the main of them are:

- the necessity of prior separation of the analyzed substance from impurities;
- low sensitivity that limits the definition of small concentrations of test material;
- long duration of analysis (especially in a weight method).

Physicochemical methods (Fig. 2) differ with a high sensitivity and selectivity, that's make it possible to use them in determination of extremely low concentrations of these substances. Among the advantages of such methods is also no need to use indicators, selectivity and small sample analysis¹.

Thus, physical and chemical methods differ by expressivity, selectivity and high sensitivity, allowing to apply them for determination of flue gas using gas analyzers.

Today with a large number of electrochemical methods of gases analyze the most widely used are conductometric, polarographic, potentiometric and coulometric.

Conductometric method of gas analysis is based on the change of the electrical conductivity of the solution due to selective absorption of a specific element from the controlled mixture. During the analysis (before and after the absorption of the corresponding element) the electrical conductivity of controlled mixture of χ is measured.

Conductometric analysis is characterized by the need to build a calibration characteristics of the solution conductivity characteristics from the concentration the studied gas in it.

The dependence of conductivity from temperature is determined by the equation:

$$\chi = \chi_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2), \quad (2)$$

where χ_0 — electrical conductivity of the solution at 0 °C; A, B — factors that depend on the nature and concentration of the electrolyte; T — temperature.

Conductometric method of analysis is sufficiently accurate, rapid and objective. The relative error of some electrolytes by this method is $\pm 1\%$, and with titration — no more than $\pm 2\%$.

¹ Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія/В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В. П. Бабака/ – К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 352 с

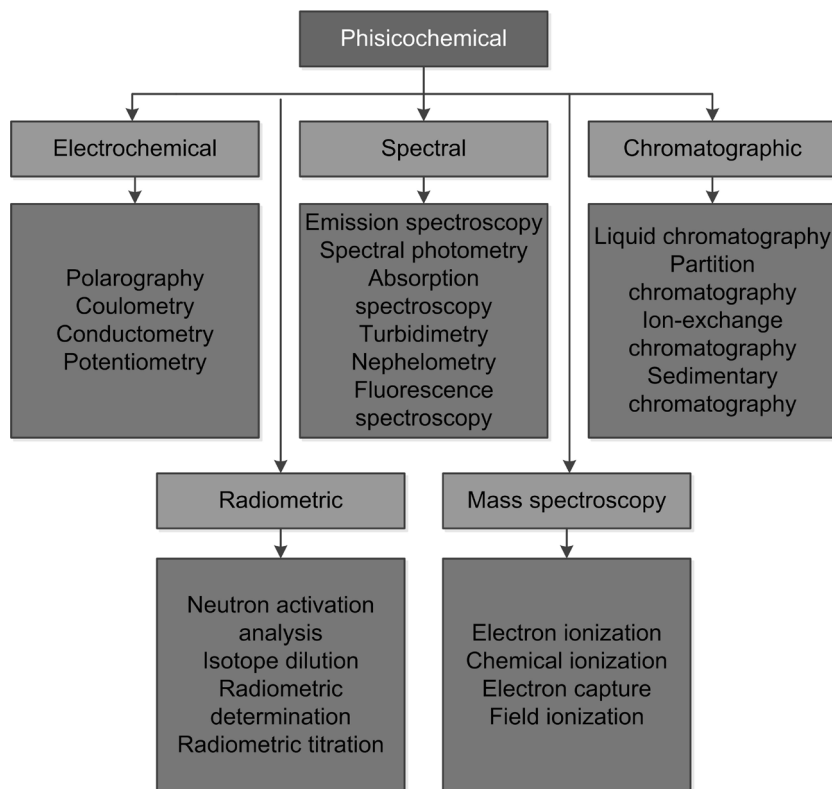


Figure 2. Classification of physicochemical methods of controlling the composition of gaseous substances

However, the application of the method is limited by the fact that the electrical conductivity depends on the concentration of all the electrolytes that are available in solution that describes the low selectivity of the conductometric method.

The accuracy will increase if the electrolytic cell would be placed in a thermostat, and make the measurements of the changes of resistance of the solution on each discrete portions of titrant after the setting the constant temperature.

Polarographic method is based on measuring the strength of the current, which is dependent on the voltage during electrolysis in case when one electrode (cathode) has a rather small surface area, and the other (anode) has a higher surface area.

The power of current at which the full discharge of all ions of analyzed that enters the space due to diffusion electrode is achieved, is called the limiting diffusion current. The magnitude of this current is proportional to the initial concentration of the studied substance (ions) in solution. The amperage on the inpatient solid electrode is determined by the equation:

$$I(t) = 706 \cdot n \cdot D^{1/2} \cdot m^{2/3} \cdot t^{1/6} \cdot C, \quad (3)$$

where $I(t)$ — current strength; n — number of oxidation/restore electrons, which entered in reaction with the ion; D — diffusion factor of the ion; m — mass of mercury that flows from the capillary; C — concentration of oxidation/restore ions.

The main difference of the polarographic method is the use of the indicator electrode during electrolysis. Due to the small surface area of the current the density of the current on it is relatively large. As a result in part of the solution, which is located along with the electrode, the concentration of the ions in the process of electrolysis sharply decreases. It causes the rapid establishment of equilibrium process when all ions that reach the electrode by diffusion discharge and the current intensity sets constant (diffusion current).

Today the polarography on solid electrodes has spread widely because of the several advantages of this method:

- work in the field of positive potentials, where the use of mercury drop electrodes is limited due to the anodic dissolution of mercury;
- use of thickened/solid electrolyte and metal electrode selection according to the peculiarities of a particular type of gas;
- continuous analysis of the flow of controlled size.

Amperage on inpatient solid electrode is determined by the equation:

$$I = F \cdot D \cdot S \cdot n \cdot \frac{C_s - C_0}{\delta}, \quad (4)$$

where F — Faraday number; D — diffusion coefficient; S — surface area of the electrode; n — the number of electrons taking part in the reaction; C_s — molar concentration of the substance in solution; C_0 — molar concentration of the substance at the electrode surface; δ — thickness of diffusion layer.

Gas analyzers that are based on polarographic methods are used to determine gases, which have redox properties (SO_2 , NO_2 , H_2 , Cl_2 , O_2 , O_3), while the accuracy of the classical polarography is $\pm 2-3\%$. Also among the advantages of this method there is its selectivity and high sensitivity.

Potentiometric method is based on measuring the potential of the indicator electrode immersed in the sample solution, which changes as a result of chemical reactions and depends on the temperature and concentration of the solution.

The potential of the indicator electrode is measured with the help of comparative electrode. During measuring the potential difference the current passing through the cell must have sufficiently small values (ranging $10^{-6}-10^{-14}$ A) to prevent the electrodes polarization.

The solubility of most gases such as SO_2 , H_2 , CO_2 and others is small and their concentration in the dilute electrolyte solutions is very close to the activities, therefore the direct potentiometric method is used to determine these gases.

In a potentiometric titration in the place of equivalence when the concentration of the studied gas is low, a sharp change in the potential of the indicator electrode means the need to end titration. Potentiometric titration method is more sensitive and excludes subjective error that occurs during the visual finding the moment of titration completion.

Coulometric method. This method of analysis is based on full electrooxidation or electroreduction of the electrically active substance. Also the total amount of current required for electrochemical conversion of the substance is fixed. The total amount of matter that had transformed is determined according to the received information, and it's concentration is calculated.

Faraday's law is base of the coulometry:

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{F \cdot n}, \quad (5)$$

where m — mass of electrochemically converted substance; M — molar mass of the substance; I — current strength in electrolysis; t — time of electrolysis; F — Faraday number; n — the number of electrons involved in oxidation/restore of a single ion.

To make coulometric analysis output of the substance on the current must be 100%, that is all the current flowing through the cell must be spent on the electrochemical reaction involving the studied matter. The basic requirement of coulometry implementation is the need to except the adverse reactions (chemical and electrochemical) involving the controlled sample, otherwise the error will be introduced in the analysis.

Table 1 shows the comparative characteristics of these methods to determine the main components of the flue gas of the boiler plant and associated gases, mainly used in gas analyzers.

As a result of comparing it's determined that the most informative methods in controlling the composition of flue gas boiler installation is conductometric and polarographic methods (8 of 10 analytical parameters). Their symbiosis is important as conductometric method can not measure the concentration of NO_x and polarographic can not measure the concentration of CO_2 . Consideration of these magnitudes is a necessary factor while regime-adjustment works and integrated ecological heating engineering testing of boilers.

3. Methodology

Air is a mixture of natural gases, which is 98–99% composed of nitrogen and oxygen, and carbon dioxide, water, hydrogen, rare gases and others (Table 2). In industry and home air oxygen is used in combustion processes, with its concentration is one of the most important parameters in the optimization of burners.

Traditionally, when calculating the EAC, level of the VCO in air is 21%. However, long-term climate-physical studies allowed not only to refute allegations about the

stability of VCO on the plains, but also offer a new option of oxygen, which is part of the air — the partial density.

Table 1. – Comparative characteristics of electrochemical methods for the analysis of flue gas

Gas	Conduc-tometric	Polaro-graphic	Potentio-metric	Coulometric
Hydrogen (H ₂)	+	+	–	+
Carbon monoxide (CO)	+	+	–	–
Carbon dioxide (CO ₂)	+	–	+	+
Hydrocarbons (C _x H _y O _z)	+	+	–	+
Nitrogen oxides (NO _x)	–	+	+	–
Oxygen (O ₂)	+	+	–	–
Ozone (O ₃)	–	+	–	+
Sulfur oxides (SO _x)	+	+	+	+
Chlorine (Cl ₂)	+	+	–	+
Fluorine (F ₂)	+	–	+	+

Table 2. – Air composition

Component	Formula	Mass concentra-tion,%	Volume concentra-tion,%
Nitrogen	N ₂	75.50	78.08
Oxygen	O ₂	23.15	20.95
Argon	Ar	1.29	0.93
Carbon dioxide	CO ₂	4.68×10 ⁻²	31.4×10 ⁻³
Neon	Ne	1.4×10 ⁻³	18.18×10 ⁻⁴
Methane	CH ₄	8.4×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁴
Helium	He	7.3×10 ⁻⁵	5.24×10 ⁻⁴
Krypton	Kr	3×10 ⁻³	1.14×10 ⁻⁴
Hydrogen	H ₂	8×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵
Xenon	Xe	4×10 ⁻⁵	8.7×10 ⁻⁶

As a result of these studies it was found a change in the partial density of oxygen in the air on the plains. It lies in the fact that the daily (seasonal) dynamics and fluctuations of the basic meteorological characteristics (temperature, absolute humidity, absolute barometric pressure) resulted by the dynamics of atmospheric processes,

takes place the redistribution of the partial density of oxygen in the air and time, resulting in a daily (seasonal) frequency and weather anomalies.

The analytical value of the partial density of oxygen (E , g/m^3) is directly proportional to the atmospheric pressure (P , hPa) excluding partial pressure of water vapor (e , hPa) and inversely proportional to the air temperature (T , K):

$$E = 23.15 \cdot 10^3 \cdot \frac{P - e}{R \cdot T}, \quad (6)$$

where R is specific gas constant for dry air; 23.15% — mass concentration of oxygen in dry air. In this case, the partial pressure of water vapor:

$$e = \varphi \cdot p_{\text{vap}}, \quad (7)$$

where φ is the humidity of air, %; p_{vap} is the quantity, which can be determined according to recommendations of the Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (Switzerland)¹:

$$p_{\text{vap}}(P, T') = f(P) \cdot r(T'), \quad (8)$$

$$f(P) = 1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6} \cdot P - 0.074 \cdot P^{-1}, \quad (9)$$

$$r(T') = 6,112 \cdot e^{\frac{17,62 \cdot T'}{243,2 + T'}}, \quad (10)$$

where T' is the temperature of air in the Celsius degrees, °C

Transition to the VCO was held with the following equation:

$$[\text{O}_2] = \frac{6,236 \cdot E \cdot T}{P' \cdot M_{\text{O}_2}}, \quad (11)$$

where $[\text{O}_2]$ is the VCO in the air, %; P' is the atmospheric pressure, mm Hg; M_{O_2} is the molar mass of oxygen, g/mol.

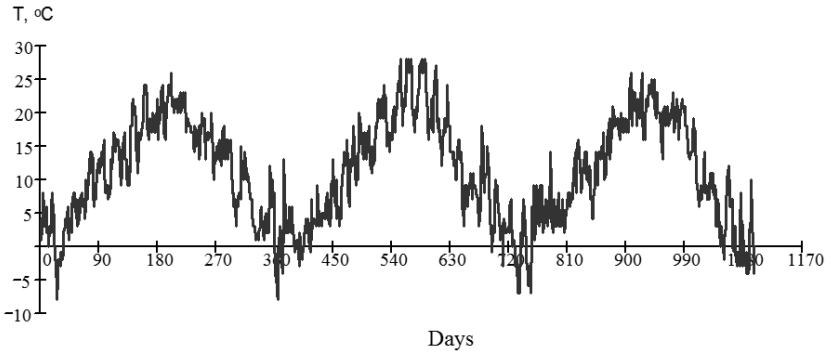
The final analytical representation of functional dependence of the VCO in the air on meteorological parameters takes the form²:

$$[\text{O}_2](P, T', \varphi) = 20.957 \cdot \left(1 - \frac{e(P, T', \varphi)}{P} \right). \quad (12)$$

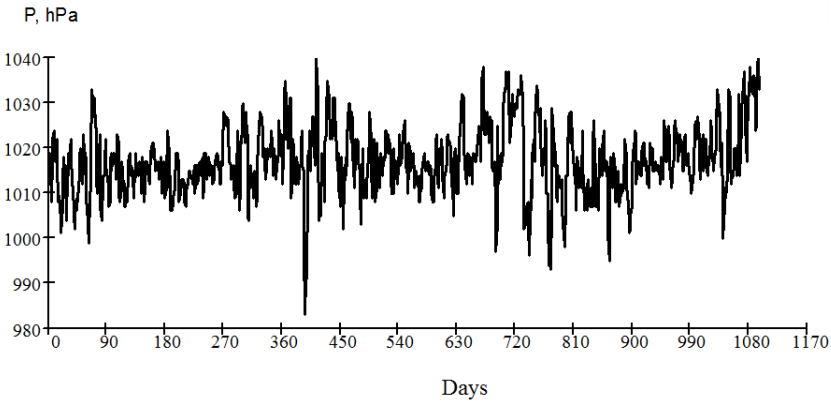
During the research it was analyzed the change of the main meteorological parameters (temperature, pressure, humidity) during 2014–2016 in 3 cities: Vienna (Austria) (Fig. 3), Kiev (Ukraine), Moscow (Russia) and obtained seasonal changes of VCO in the air in these areas (Fig. 4).

¹ Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation/World Meteorological Organization, – 2008. – № 8. – 119 p

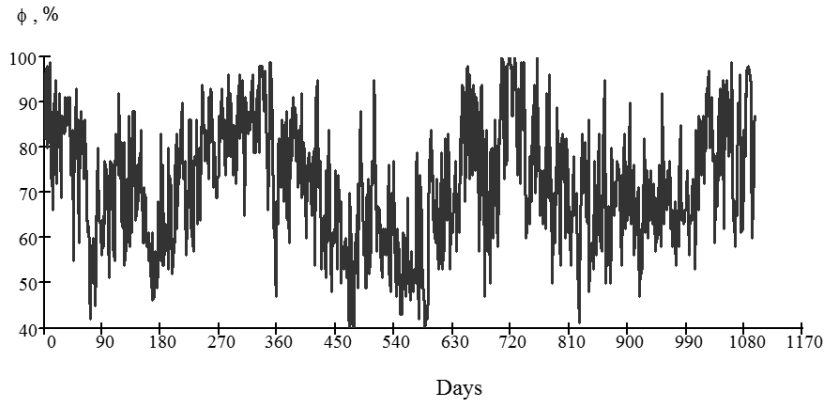
² Бабак В. П. Влияние метеорологических параметров на оптимизацию процесса горения/В. П. Бабак, А. А. Запорожец, А. А. Редько//Научные известия НТСМ. – 2015. – № 2. – Т. 165. – С. 361–364; Редько О. О. Дослідження альтернативного методу вимірювання концентрації кисню в повітрі/О. О. Редько, В. М. Мокійчук, А. О. Запорожець//Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси: матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції (17–18 травня, – 2016 р., м. Київ; Національний авіаційний університет. – Київ. – 2016. – С. 136–138.



a)



b)



c)

Figure 3. Changes of temperature (a), pressure (b), humidity (c) in the air in Vienna in 2014–2016

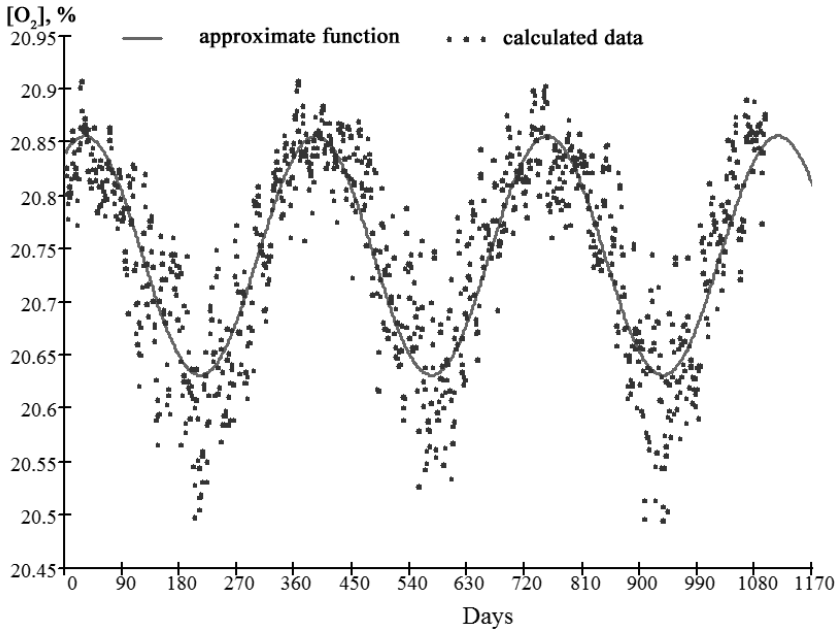


Figure 3'. Calculated VCO in the air in Vienna in 2014–2016

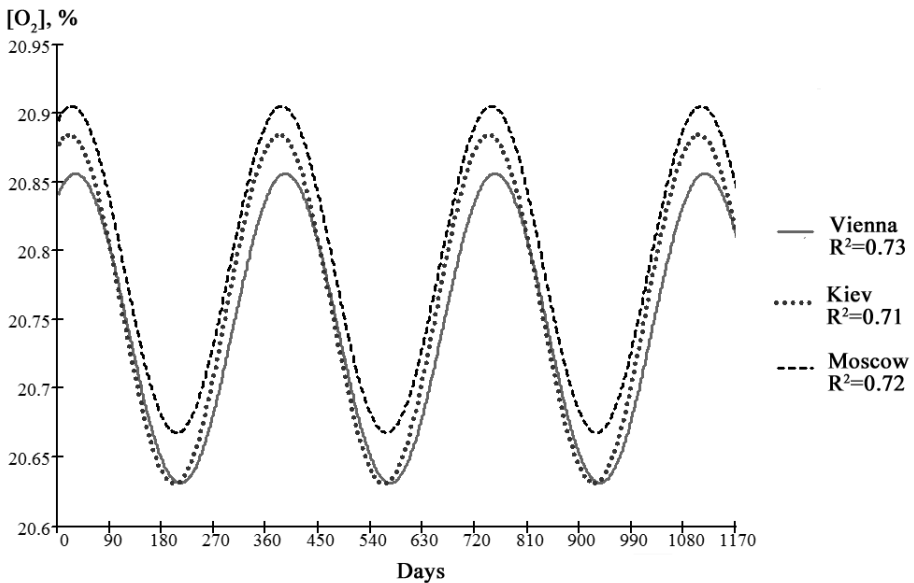


Figure 4. Approximate functions of VCO changes in the air in Vienna, Kiev and Moscow in 2014–2016

Taking into account the above data about the VCO in the air it's an urgent task to incorporate the daily/seasonal changes in climatic environmental parameters and operating conditions during the combustion process control.

Therefore, recommended to consider an amendment to the current value of the VCO in the air that is possible in 2 technical methods described in the next section.

Fig. 5 shows the twoparametric dependence of the amendment (correction for error of method of EAC measurement) from its arguments, which is calculated as follows¹:

$$\nabla\alpha([O_2],[O_2]_{out}) = \frac{[O_2]_{out} \cdot (21 - [O_2])}{([O_2] - [O_2]_{out}) \cdot (21 - [O_2]_{out})}. \quad (13)$$

For obtaining the true result in the table 3 shows the values of some corrections that must be subtracted from the measured value of the EAC.

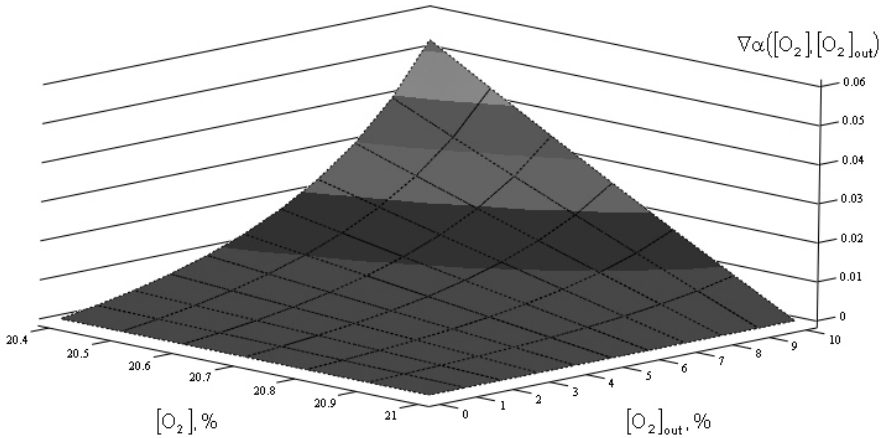


Figure 5. Twoparametric dependence of the amendment (correction for error of method of EAC measurement) from VCO in the air $[O_2]$ and the VCO in the output gas $[O_2]_{out}$

Table 3. – Correction for error of method of EAC measurement

$[O_2]_{out}$ $[O_2]$	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20.4	0.070	0.095	0.132	0.188	0.278	0.436	0.750	1.500	4.071
20.5	0.058	0.078	0.108	0.154	0.227	0.356	0.607	1.200	3.167
20.6	0.046	0.062	0.086	0.121	0.179	0.278	0.472	0.923	2.375
20.7	0.034	0.046	0.063	0.090	0.132	0.204	0.345	0.667	1.676
20.8	0.022	0.030	0.042	0.059	0.086	0.133	0.224	0.429	1.056
20.9	0.011	0.015	0.021	0.029	0.042	0.065	0.109	0.207	0.500

¹ Запорожець А. О. Підвищення точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах із застосуванням газоаналізаторів електрохімічного типу/В. П. Бабак, А. О. Запорожець, О. О. Редько//Промышленная теплотехника. – 2015. – № 1. – С. 82–96.

The figure 4 shows the approximated sinusoidal functions for the values of O_2 calculated by the formula (11) from the meteorological. For each received approximated function it was calculated the coefficient of determination R^2 , whose values for most of the surveyed cities are more than 0.71. These interpolants shows the unevenness of the VCO change in different cities around the world during 2014–2016.

4. Technical realization

It's possible to control the process of fuel combustion in the following ways:

- visually by such characteristics of the torch as it's length, color, luminosity, etc.

For possession of this subjective evaluation method it's necessary to have a large professional experience;

- by the composition of combustion products produced by a gas analyzer.

During the analysis of the composition of combustion products firstly it's necessary to pay attention to the content of carbon monoxide CO. The absence of CO in the analysis data indicates the complete fuel combustion of fuel and absence of the heat loss from the chemical combustion incompleteness.

If CO is present in the combustion products it's necessary to increase the air supply in order to minimize or eliminate it's content in the combustion products according to the production instruction or regime map.

The absence of CO from the combustion gases number in the combustion products doesn't indicate the quality fuel combustion. It's also necessary to control the content of oxygen and triatomic gases RO_2 in the dry combustion products. Using data about the contents of these components it's possible to set an important quantity characterizing the quality of combustion — EAC.

One of the options to define this value is the calculation by “nitric formula”, which has the following form for complete combustion:

$$\alpha = \frac{[N_2]}{[N_2] - 3.76 \cdot [O_2]}, \quad (14)$$

where $[N_2]$, $[O_2]$ — volume concentration of N_2 and O_2 in dry combustion products; 3.76 — the ratio of nitrogen to oxygen in the air.

Thus to determine the stoichiometric coefficients of air-fuel mixture using the following dependence¹:

$$K = \frac{M_{air} \cdot \alpha \cdot (k + l/4 - m/2)}{(k \cdot a + l \cdot b + m \cdot c) \cdot [O_2]}, \quad (15)$$

where M_{air} — molar mass of air; k, l, m — number of atoms of carbon, hydrogen and oxygen (hydrocarbon fuel — $C_k H_l O_m$); a, b, c — atomic weight of carbon, hydrogen and oxygen, K — mass stoichiometric coefficient.

¹ Запорожець А. О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 2. Алкени, алкіни/А. О. Запорожець//Наукоємні технології. – 2014. – № 4. – С. 393–399; Запорожець А. О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 1. Алкани//Наукоємні технології. – 2014. – № 2. – С. 163–167.

In practice, the standard formula for determining the EAC is used (1).

The basis of the invention is the task of improving the standard method for determining the EAC, by measuring the VCO in the environment, which provides an exception of the methodological errors and improve the accuracy of this method.

The problem is solved in that way that determination the EAC, is realized by the formula¹:

$$\alpha = \frac{[O_2]}{[O_2] - [O_2]_{out}} = 1 + \frac{[O_2]_{out}}{20.957 \cdot \left(1 - \frac{e(P, T', \varphi)}{P}\right) - [O_2]_{out}}. \quad (16)$$

Measuring the VCO in the environment allows to exclude correction of existing method; to increase the accuracy and stability of EAC, determination, to reduce the operating costs in the combustion process.

The method of determining the EAC, that is based on the measurement of VCO in the environment, is implemented using the circuit shown in Fig. 6.

The proposed methods are implemented as follows².

Method (a). In the hole of the flue path an inside oxygen sensor that measures the residual oxygen concentration in the flue gases is set. External oxygen sensor is placed in the environment (outside flue tract) and measures the VCO in the air. The signals from both sensors come to the analytical unit, which determines the EAC by the formula (16).

Method (b). With the help of gas analyzer a preliminary measurement of VCO in the environment is made. The value of this parameter is stored in the analyzer's memory as $[O_2]$. Then the sensor of the gas analyzer is placed inside the smoke tract and the EAC measurement is made by the formula (16) assuming parameter $[O_2]$ constant.

Method (a) has greater accuracy of the EAC as it takes into account daily/seasonal fluctuations in the VCO in the air, but the method (b) does not require additional number of sensors that are financially advantageous in developing the gas analyzers.

¹ Бабак В. П. Влияние метеорологических параметров на оптимизацию процесса горения/В. П. Бабак, А. А. Запорожец, А. А. Редько//Научные известия НТСМ. – 2015. – № 2. – Т. 165. – С. 361–364.

² Запорожець А. О. Система якості горіння повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах малої та середньої потужності/В. П. Бабак, А. О. Запорожець//Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 106–114; Пат. № 110761, Україна, МПК F23N5/18, G01N27/419. Спосіб визначення коефіцієнта надлишку повітря/Бабак В. П., Запорожець А. О., Редько О. О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 19.02.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3; Пат. № 111568, Україна, МПК G01N35/00, G01N33/00, G01N1/22. Спосіб градування газоаналізатора/Бабак В. П., Запорожець А. О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 22.07.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.

Based on theoretical calculations it was shown that the use of the proposed ways to determine the EAC reduces correction (to 0.4 values of the EAC) improves energy efficiency by burning various types of fuel and reduce operating costs.

In articles¹ showed that a comparison of numerical results of uncertainties of the VCO values measured by the direct (0.104%, with gas analyzers) and indirect ($\leq 0.03\%$, based on meteorological parameters) methods reveals that the former can be applied in practice for the calculation of VCO with a better accuracy.

The proposed methods and technical solutions used in the monitoring and diagnosis of power objects systems².

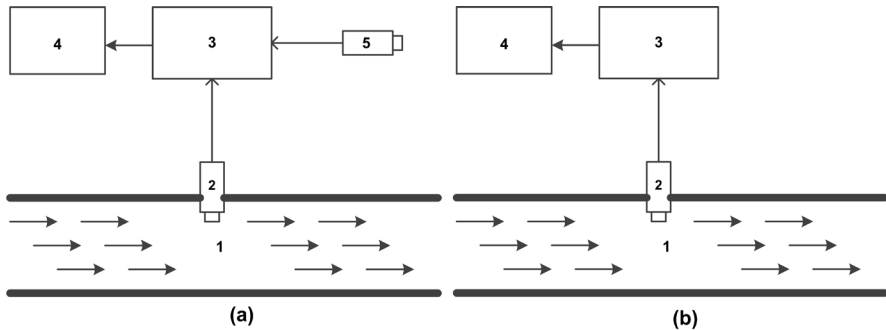


Figure 6. Methods of increasing the measurement accuracy of the EAC: (a) – with using two oxygen sensors; (b) – with using a single oxygen sensor. 1 – flue gases; 2 – internal oxygen sensor, 3 – analytical unit, 4 – display, 5 – external oxygen sensor

5. Conclusions

Today the problem of fuel resources saving is very actual for the whole world, so monitoring combustion processes in boilers should as accurate as possible.

The proposed methods to improve the accuracy of EAC measurement in boilers using gas analyzers (including electrochemical type) has extraordinary promise as it takes into account correction, which is built into the electronic system of calculation of the devices. To determine the EAC of the gas analyzer it's necessary to determine the current VCO in the flue gases and compare it with the value of the VCO in the air, which is considered to equal 21% (1).

¹ Babak, V.P. Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration/V.P. Babak, V.M. Mokiychuk, A.A. Zaporozhets, A.A. Redko// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6. – № 8 (84). – P. 54–59.

² Бабак В.П. Технологія Smart Grid в системах моніторингу об'єктів теплоенергетики /В.П. Бабак, А.О. Запорожець, А.Д. Свердлова//Промышленная теплотехника.– 2016.– № 6.– Т. 38.– С. 71–81; Свердлова А.Д. Разработка многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования/А.Д. Свердлова, А.А. Запорожец, А.А. Редько//Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус». – 2016. – № 13. – Т. 1. – С. 9–13

However, this option is not constant and depends not only on the height of the object of control, but also on such parameters as humidity, temperature and pressure.

The final formula for determining the EAC considering the current VCO in the air is:

$$\alpha = 1 + \frac{[O_2]}{[O_2] - [O_2]_{out}}$$

Thus, the application of the proposed methods of improving the accuracy of EAC measurement in gas analyzers will improve the EAC measurement accuracy to 10%.

Of course, the results obtained by the proposed article (formula 12) to calculate the VCO are approximate and require further investigation.

The determined level of oxygen in a specific point on the earth may also depend on the distance of measuring devices from the control zone, accuracy of the devices, and especially polluting gases that are present in the air. With the last factor it's connected the "23.15" coefficient of the formula (6), because the mass concentration of the oxygen in dry air is not a constant value.

References:

1. Babak V.P. Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration/V.P. Babak, V.M. Mokiychuk, A.A. Zaporozhets, A.A. Redko//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6. – № 8 (84). – P. 54–59.
2. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation/World Meteorological Organization, – 2008. – № 8.– 119 p.
3. Kouprianov V.I. Applications of a cost-based method of excess air optimization for the improvement of thermal efficiency and environmental performance of steam boilers/V.I. Kuprianov//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2005. – Vol. 9, Issue 5. – P. 474–498.
4. Kouprianov V.I. Optimization of excess air for the improvement of environmental performance of a 150 MW boiler fired with Thai lignite/V.I. Kouprianov, V. Tanetsakunvatana//Applied Energy. – 2003. – Vol. 74, Issue 3–4. – P. 445–453.
5. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія/В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В. П. Бабака/ – К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, – 2016. – 352 с.
6. Бабак В.П. Влияние метеорологических параметров на оптимизацию процесса горения/В.П. Бабак, А.А. Запорожец, А.А. Редько//Научные известия НТСМ. – 2015. – № 2. – Т. 165. – С. 361–364.
7. Бабак В.П. Технологія Smart Grid в системах моніторингу об'єктів теплоенергетики/В.П. Бабак, А. О. Запорожець, А. Д. Свердлова //Промышленная теплотехника. – 2016. – № 6. – Т. 38. – С. 71–81.

8. Бабак В. П. Экспериментальные исследования изменения объемной концентрации кислорода в воздухе и его влияние на процесс горения/В. П. Бабак, А. А. Запорожец, А. А. Редько//Научные известия НТСМ. – 2016. – № 1. – Т. 187. – С. 81–84.
9. Запорожець А. О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 2. Алкени, алкіни/А. О. Запорожець//Наукоємні технології. – 2014. – № 4. – С. 393–399.
10. Запорожець А. О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 1. Алкани//Наукоємні технології. – 2014. – № 2. – С. 163–167.
11. Запорожець А. О. Підвищення точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах із застосуванням газоаналізаторів електрохімічного типу/В. П. Бабак, А. О. Запорожець, О. О. Редько//Промышленная теплотехника. – 2015. – № 1. – С. 82–96.
12. Запорожець А. О. Система якості горіння повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах малої та середньої потужності/В. П. Бабак, А. О. Запорожець//Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2 (33). – С. 106–114.
13. Методика расчета количества кислорода в атмосферном воздухе на основе метеорологических параметров с целью прогнозирования метеопатических эффектов атмосферы: [метод. рекомендации]/Гл. упр. лечеб.-профил. помощи; сост. В. Ф. Овчарова. – М.: МЗ СССР. – 1983. – 13 с.
14. Пат. № 110761, Україна, МПК F23N5/18, G01N27/419. Спосіб визначення коефіцієнта надлишку повітря/Бабак В. П., Запорожець А. О., Редько О. О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 19.02.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3.
15. Пат. № 111568, Україна, МПК G01N35/00, G01N33/00, G01N1/22. Спосіб градування газоаналізатора/Бабак В. П., Запорожець А. О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 22.07.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
16. Редько О. О. Дослідження альтернативного методу вимірювання концентрації кисню в повітрі/О. О. Редько, В. М. Мокийчук, А. О. Запорожець//Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси: матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції (17–18 травня, 2016 р., м. Київ; Національний авіаційний університет. – Київ. – 2016. – С. 136–138.
17. Свердлова А. Д. Разработка многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования/А. Д. Свердлова, А. А. Запорожец, А. А. Редько//Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус». – 2016. – № 13. – Т. 1. – С. 9–13.

*Nikulin Oleg Viktorovich,
MC Tatburneft, LLC, Lead Power Engineer
E-mail: oleg309@yandex.ru*

Chapter 8. Research methods and design of electrical systems of drilling rigs

*Никулин Олег Викторович,
ООО «УК «Татбурнефть»»,
ведущий инженер-энергетик
E-mail: oleg309@yandex.ru*

Глава 8. Методы исследования и проектирования электротехнических комплексов буровых установок

Буровая установка — это сложный комплекс агрегатов и машин, предназначенных для производства работ по бурению скважин. Повышение энергоёмкости буровых установок, обусловленное значительным расширением задач при бурении нефтегазовых скважин (необходимость бурения в новых районах, увеличение глубин бурения, горизонтальное бурение), а в последнее время в связи с развитием технологий извлечения трудноизвлекаемых запасов нефти и постоянный рост цен на энергоносители повышают требования к снижению расхода электроэнергии, ресурсосбережению при бурении, с одновременным увеличением требований к производительности буровых установок, их экономичности и к оптимизации режимов управления. Такие повышенные требования может удовлетворить только регулируемый электропривод и средства автоматизации технологических процессов.

Основными потребителями электроэнергии на буровых установках являются главные механизмы: буровая лебедка для спуска и подъема колонны бурильных труб, буровой ротор для вращения колонны бурильных труб, буровые насосы и система верхнего привода для вращения колонны бурильных труб и автоматизации спуско-подъемных операций.

В настоящее время в бурении широко используются буровые установки как с нерегулируемым, так и с регулируемым электроприводом. Для привода буровых лебедок, роторов и насосов на установках с нерегулируемым электроприводом применяются синхронные и асинхронные двигатели. Буровые установки с регулируемым электроприводом, в качестве приводов главных механизмов имеют электродвигатели постоянного тока, а все вновь вводимые буровые установки — частотно-регулируемые асинхронные электродвигатели.

Применяемые при бурении скважин роторы предназначены для передачи вращения бурильным трубам, поддержания на весу колонны бурильных и обсадных труб при их свинчивании и развинчивании, а также для выполнения ловильных операций.

При турбинном бурении ротор удерживает колонну бурильных труб от вращения в сторону, противоположную направлению вращения долота и используется для периодического проворачивания инструмента.

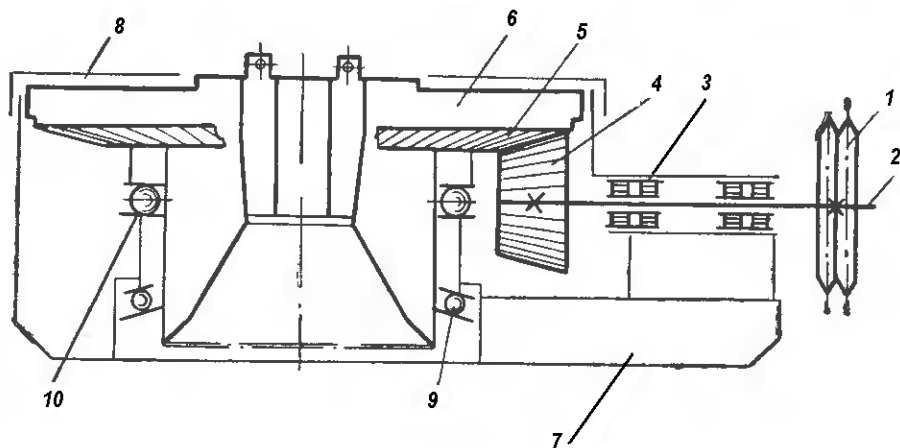


Рисунок 1. Кинематическая схема ротора

На ведущем валу 2 ротора (рисунок 1) монтируется на шпонке цепное колесо 1. Ведущий вал 2 находится на двух самоустанавливающихся роликовых подшипниках 3. На левом консольном конце ведущего вала наглухо насаживается коническая шестерня 4, находящаяся в постоянном зацеплении с коническим зубчатым венцом 5, связанным со столом 6 ротора.

Стол ротора опирается на основную опору 10, воспринимающую нагрузку от веса колонны обсадных или бурильных труб. Дополнительная опора 9 воспринимает нагрузки, действующие в обратном направлении, возникающие при вибрациях инструмента и при проработке ствола. Внутри стола ротора монтируются вкладыши и зажимы. Все детали ротора монтируются в станине 7, которая воспринимает и передает на фундамент ротора все нагрузки как в процессе бурения, так и при спуско-подъемных операциях.

Ротор имеет невращающийся кожух 8. Привод на ротор осуществляется либо при помощи цепной передачи, либо при помощи карданного вала, тогда вместо звездочки 1 на вал ротора устанавливается карданное сочленение¹.

¹ Даниелян А. А. Буровые машины и механизмы. Издание второе, дополненное и переработанное. – М.: Гостехиздат, – 1961. – 490 с.

Выбор вида привода и его характеристик выполняют с учетом следующих требований и технологических особенностей работы¹:

- привод ротора должен быть реверсивным;
в основных рабочих режимах работы ротор должен вращаться в одном (прямом) направлении; обратное направление вращения необходимо только в некоторых вспомогательных режимах, поэтому допустим реверс после оперативных переключений с кратковременным перерывом питания;
 - режим работы — длительный, причем момент нагрузки может быть постоянным или колебаться в некоторых пределах (вплоть до максимального);
 - при регулировании частоты вращения ниже номинальной привод должен обеспечивать возможность длительной работы при номинальном моменте нагрузки, при регулировании частоты выше номинальной — при постоянной номинальной мощности, однако привод ротора работает при меньших моменте и мощности, в связи с чем автоматическое обеспечение указанных условий не требуется;
 - пусковые характеристики привода не регламентируются, необходимо лишь, чтобы момент на роторе не превышал максимального, который составляет обычно 1.5 ... 1.6 номинального;
 - требуемый статизм механической характеристики в пределах номинальной нагрузки должен быть не более 5 ... 10% номинальной частоты вращения;
 - требования к плавности регулирования частоты вращения зависят от расчетной глубины бурения (плавное регулирование необходимо на установках глубокого бурения, а на прочих установках допустимо ступенчатое изменение частоты вращения);
 - специфическим является требование ограничения момента инерции привода.
- Ротор приводит во вращение длинную упругую колонну труб. Для уменьшения динамических нагрузок в трубах при заклинивании долота привод должен иметь возможно меньший момент инерции.

Система верхнего привода в последнее время становится наиболее популярным способом бурения нефтяных и газовых скважин. Этой системой оборудуются как импортные, так и отечественные буровые установки. В принципе, верхний привод представляет собой подвижный вращатель с сальником-вертлюгом, оснащенный комплексом средств механизации спуско-подъемных операций — силовой вертлюг. При его использовании не нужны бурильная ведущая труба и шурф под нее, а также намного облегчается труд помощника бурильщика, поскольку элеватор механически подается в необходимую позицию. Вместо наращиваний одиночными трубами («одиночками») можно наращивать бурильную колонну свечами.

¹ Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», – 2007. – 576 с.

Кроме того, применение системы верхнего привода предусмотрено правилами безопасности в нефтяной промышленности при условии, что длина горизонтального участка составляет более 300 м¹. Общий вид системы верхнего привода показан на рисунке 2.

Система верхнего привода крепится с помощью подвески 1 к талевому блоку, вся система движется вертикально по направляющим 2. Ось системы совпадает с осью скважины. Приводное устройство содержит асинхронный электродвигатель 3 с короткозамкнутым ротором и редуктор 4. Буровой раствор подводится при помощи гибкого шланга к трубопроводу 5. В процессе спуско-подъемных операций к силовому вертлягу с помощью штропов 6 подвешивается элеватор 7, который служит для захвата верхней муфты бурильной трубы.

При бурении элеватор снимается, верхний конец бурильной трубы привинчивается к соединительному устройству 8, которое по существу является выходным валом приводного устройства. При необходимости реверс колонны осуществляется реверсированием двигателя. Реактивный момент, возникающий при работе системы верхнего привода, воспринимается направляющими 2.

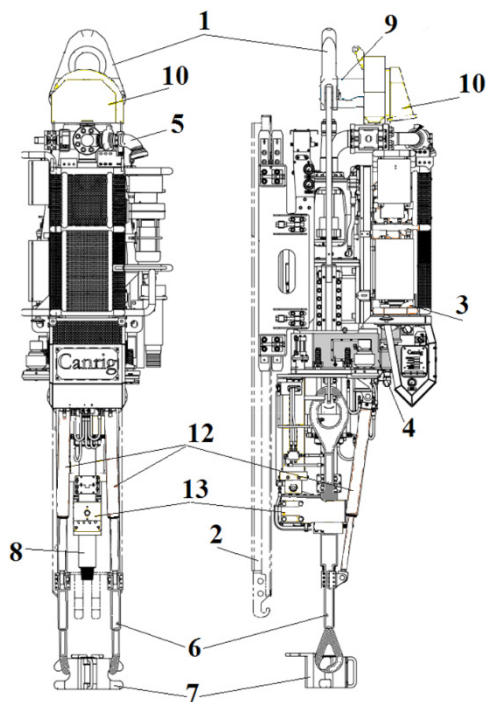


Рисунок 2. Общий вид системы верхнего привода

¹ Шафарутдинов И. И. Верхний силовой привод // Буровик. – 2013. – № 4 (11). – С. 3.

Асинхронный электродвигатель 3 является главным двигателем и имеет систему охлаждения, состоящую из электродвигателя обдува 9 и воздуховода 10. Для обеспечения обратной связи по скорости на валу электродвигателя 3 расположен энкодер.

Система верхнего привода обеспечивает¹ посредством главного двигателя 3 (рисунок 2):

– вращение бурильной колонны при бурении, спуско-подъемные операции, проработку и расширение ствола скважины методом «сверху вниз» и «снизу-вверх»;

– свинчивание, закрепление, раскрепление и развинчивание бурильных колонн; закрепление трубных соединений с контролируемым бурильщиком моментом;

– проворачивание бурильной колонны при бурении забойным двигателем.

При помощи штропов 6 (рисунок 2), оборудованных гидравлическими штропоотклонителями 12 и стопорного ключа 13, обеспечивающего фиксацию труб:

– проведение спуско-подъемных операций;

– проведение операций по спуску обсадных колонн;

– наращивание бурильной колонны свечами и однотрубками.

Благодаря наличию трубопровода 5, интегрированного в систему верхнего привода обеспечивается промывка скважины, а также расхаживание с промывкой бурильных колонн при ликвидации аварий и осложнениях.

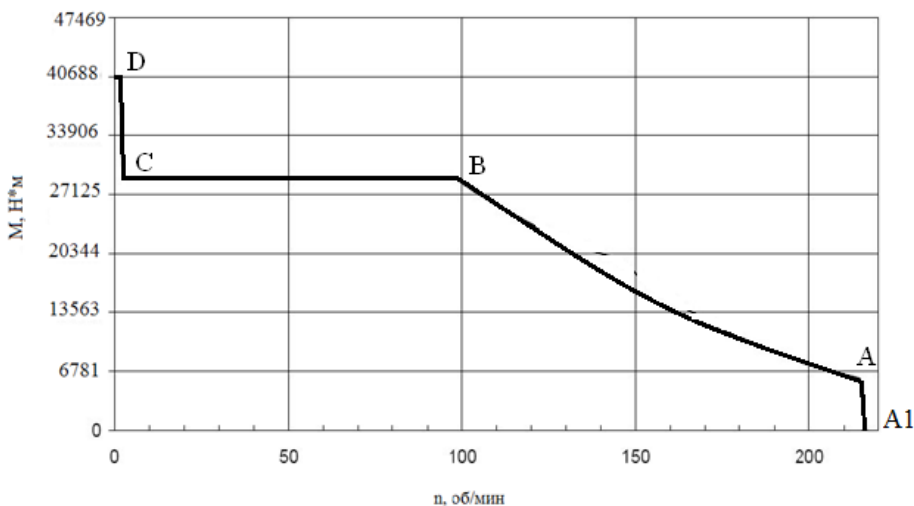


Рисунок 3. Механическая характеристика системы верхнего привода

¹ Шарафутдинов И. И. Верхний силовой привод // Буровик. – 2013. – № 4 (11). – С. 3.

Основные преимущества системы верхнего привода:

- сокращение объема и времени вспомогательных операций (например, наращивание труб при бурении);
- расширение ствола скважины при спуске и подъеме инструмента;
- повышение точности проводки скважин при направленном бурении;
- уменьшение времени первоочередных действий буровой бригады при первых признаках газо-водо-нефтепроявлениях и снижение вероятности выброса флюида из скважины через бурильную колонну;
- сокращение рисков вероятности прихвата бурильного инструмента;
- облегчение спуска обсадных труб в зонах осложнений за счет вращения и промывки;
- повышение безопасности буровой бригады;
- сокращение сроков бурения и в целом строительства скважин.

На рисунке 3 показана механическая характеристика СВП. Участок А–В является кривой постоянства развиваемой электроприводом мощности, участок В–С — режим постоянства момента, при этом максимальный «стопорный» момент достигается в точке D. В режиме минимального момента вводится дополнительное жесткое ограничение момента (участок А–А1).

Выбор того или иного из рассмотренных режимов производит бурильщик при помощи соответствующих переключателей на пульте. При бурении турбобуром с одновременным проворачиванием колонны бурильных труб устанавливается режим минимального момента (участок А–А1); режим постоянства мощности используется при бурении с использованием главного двигателя СВП, передающего вращение бурильным трубам; при ликвидации прихватов и т. п. используется режим постоянства момента (участок В–С). Работа на участке С–D происходит в моменты свинчивания и развинчивания бурильных труб.

Мощность, развиваемая буровым ротором и системой верхнего привода на валу электродвигателя в различных режимах, может быть представлена как сумма трех составляющих:

- мощность, расходуемая на холостое вращение колонны бурильных труб $N_{x.v.}$;
- мощность, расходуемая на разрушение горной породы на забое скважины $N_{заб.}$;
- мощность, расходуемая на потери в механизмах привода $N_{п.}$.

Мощность, расходуемая на холостое вращение колонны бурильных труб, определяется в зависимости от большого числа факторов — глубины, диаметра и профиля скважины, параметров режима бурения, состояния пород и вида промывочной жидкости. Для практических расчетов можно воспользоваться экспериментальными формулами для вертикальных скважин с углом наклона до 75° ¹:

¹ Шабанов В. А., Никулин О. В. Об особенностях эксплуатации электрооборудования и средств

$$N_{x.b} = 55,8 \cdot 10^{-4} k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 (1 + 0,44 \cdot \cos\beta \cdot (0,9 + 20 \cdot \delta)) \cdot k_4 \cdot q \cdot d \cdot n^{1,83} \cdot L^{0,75} \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий тип соединения бурильных труб (для ниппельного соединения $k_1=1$; для муфтово-замкового – $k_1=1,3$);

k_2 – коэффициент, учитывающий вид промывочной жидкости и применение антивибрационной смазки (при промывке глинистым раствором $k_2=1,1 \div 1,3$; при промывке водой $k_2=1$; при использовании антивибрационной смазки или эмульсионного раствора $k_2=0,4 \div 0,6$);

k_3 – коэффициент, учитывающий характер стенок скважины (для нормально-го разреза $k_3=1$; в сложных геологических условиях $k_3=1,5 \div 2$);

k_4 – коэффициент, учитывающий материал бурильных труб (для стальных бурильных труб $k_4=1$; для алюминиевых бурильных труб $k_4=0,75$);

$\delta = (D-d)/2$ – зазор между стенками скважины и бурильными трубами, м, где D – диаметр скважины, м;

d – диаметр бурильных труб, м;

q – масса 1 м бурильных труб, кг/м;

n – частота вращения долота, c^{-1} ;

L – глубина скважины, м;

$\cos\beta$ – косинус угла наклона скважины.

Для определения мощности, необходимой для холостого вращения стальной бурильной колонны при бурении скважин с углом наклона менее 5° используется полуэмпирическая формула, предложенная А. Е. Сарояном¹:

$$N_{x.b} = 13,5 \cdot 10^{-8} \cdot L \cdot d^2 \cdot (60 \cdot n)^{1,5} \cdot D^{0,5} \cdot \gamma_{ж} \quad (2)$$

где $\gamma_{ж}$ – удельный вес промывочной жидкости, $H/м^3$.

Для труб из легких сплавов $N_{x.b}$ снижается пропорционально уменьшению удельного веса материала труб.

Мощность на разрушение породы при бурении зависит от типа породоразрушающего инструмента и параметров режима бурения.

При бурении твердосплавными коронками мощность, расходуемая на разрушение горной породы определяются по формуле

$$N_{заб} = 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot P \cdot 60 \cdot n \cdot D_{cp.k} \cdot (0,137 + \mu) \quad (3)$$

где P – осевая нагрузка, Н;

$D_{cp.k}$ – средний диаметр коронки, м.

$$D_{cp.k} = (D_{1k} + D_{2k})/2 \quad (4)$$

где D_{1k} и D_{2k} – наружный и внутренний диаметр коронки, м;

μ – коэффициент трения резцов коронки о породу забоя.

автоматизации систем верхнего привода // Rogtec Российские нефтегазовые разработки, Выпуск – 45, – 2016, – С. 40–50.

¹ Drillings.ru Буровой портал. Мощность двигателей, расходуемая на бурение. URL: <http://www.drillings.ru/mosch> (дата обращения: 26.12.2015).

Коэффициент трения резцов о породу зависит от многих факторов и является величиной приближенной. Его значения зависят от параметров режима бурения, состава очистного агента, проходимых пород и ряда других факторов.

Значения μ для разных типов пород приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент трения резцов коронки о породу

Тип пробуриваемой породы	Коэффициент трения резцов коронки о породу забоя
пески, суглинки	0,2
песчаники, глины	0,3
доломиты, известняки	0,35

При бурении алмазными коронками

$$N_{\text{заб}} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot P \cdot 60 \cdot n \cdot D_{\text{ср.к.}} \quad (5)$$

При бескерновом бурении

$$N_{\text{заб}} = (3 \div 4) \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot P \cdot 60 \cdot n \cdot D \quad (6)$$

При использовании шарошечных долот можно рассчитывать мощность, затрачиваемую на забое, также по формуле

$$N_{\text{заб}} = 10^{-3} \cdot \mu \cdot 0,1 \cdot P \cdot 60 \cdot n \cdot D \quad (7)$$

Для долот диаметром 0,076 м и более $\mu=0,17$, диаметром 0,059 м и менее $\mu=0,10$.

Из большого числа зависимостей по вычислению мощности, затрачиваемой на работу шарошечных долот диаметром 0,12–0,45 м отметим формулу фирмы «ЮЗ» (США), полученную на основании стендовых испытаний трехшарошечных долот при бурении в песчанике, известняке и граните

$$N_{\text{заб}} = c \cdot 10^{-5} \cdot (1000 \cdot P)^{1,3} \cdot 60 \cdot n \cdot (0,001 \cdot D)^{0,4} \quad (8)$$

где c — коэффициент крепости пород, принимаемый для мягких пород $c=2,6$; для пород средней твердости $c=2,3$; для крепких $c=1,85$; для изношенных долот величина c увеличивается в 1,5 раза.

При бурении долотами режуще-истирающего типа N_{Λ} значительно возрастает: при $D = 0,19$ м, $n = 1,16$ с⁻¹ и $P_{\Lambda} = 50 \div 150$ кН расход мощности на разрушение породы достигает 11–36 кВт.

Мощность, расходуемая на потери в механизмах привода N_{Π} зависит от коэффициента полезного действия редуктора η_p , и определяется по формуле

$$N_{\Pi} = (N_{\text{х.в.}} + N_{\text{заб.}}) \cdot \frac{1 - \eta_p}{\eta_p} \quad (9)$$

Мощность, развиваемая на валу электродвигателя СВП, в конкретном режиме определяется суммой трех составляющих

$$N_{\text{СВП}} = N_{\text{х.в.}} + N_{\text{заб.}} + N_{\Pi} \quad (10)$$

В таблицу 2 сведены параметры эксплуатационного бурения скважины № 21021 по данным буровой компании ООО УК «Татбурнефть» при использовании шарошечных долот. Оптимальная частота вращения долота на каждом этапе бурения задается геологами и приведена в таблице 2.

Всего процесс бурения содержит семь этапов. На первых трех этапах частота вращения долота составляет 2 с^{-1} , а нагрузка на долото 29,42 кН. На четвертом и пятом этапах без изменения частоты вращения увеличивается нагрузка на долото до 176,52 кН, а на шестом и седьмом этапах увеличивается частота вращения долота до $2,92 \text{ с}^{-1}$ без изменения нагрузки на долото.

Из таблицы 2 видно, что на каждом этапе бурения мощность, расходуемая на холостое вращение КБТ и на разрушение горной породы на забое при постоянной частоте вращения зависят только от глубины скважины и нагрузки на долото, соответственно, т. к. параметры бурения не изменяются в пределах интервалов бурения. Поэтому представим формулы (1) и (7) в виде

$$N_{x.б} = C \cdot n^{1,83} \cdot L^{0,75}, \quad (11)$$

$$N_{заб} = K \cdot n \cdot P, \quad (12)$$

где C и K — коэффициенты, учитывающие параметры бурения скважины.

Бурение скважины № 21021 на первых двух этапах осуществлялось с использованием в качестве привода долота систему верхнего привода. На остальных этапах использовался турбобур. При бурении турбинным способом требуемая частота вращения долота обеспечивается производительностью буровых насосов. Мощность, требуемая для разрушения горной породы на забое так же передается от буровых насосов. Поэтому при бурении турбинным способом мощность, развиваемая на валу электродвигателя системы верхнего привода, затрачивается только на холостое вращение колонны бурильных труб и на потери в механизмах. Следует отметить, что при бурении турбинным способом, частота вращения системы верхнего привода составляет 0,3–0,5 от частоты вращения долота, и определяется только технологической необходимостью. Так, начиная с третьего этапа бурения скважины № 21021, частота вращения системы верхнего привода n_1 составляла 1 с^{-1} .

В таблице 3 приведены результаты расчетов мощностей, коэффициентов C и K , частоты вращения и момента на валу двигателя.

На рисунке 4 показана механическая характеристика системы верхнего привода и расчетные кривые по данным, приведенным в таблице 3. Бурение начинается в точке 1 с использованием системы верхнего привода в качестве привода долота и продолжается до точки 2. Точка 2 является концом второго этапа бурения. В точке 3 начинается третий этап бурения турбинным способом и продолжается до точки 4. Из рисунка 3 видно, что система верхнего привода недоиспользова-

на по мощности, поэтому представляет интерес исследования работы привода на всех интервалах бурения без использования турбобура.

В таблице 4 приведены результаты расчетов при бурении скважины с использованием в качестве привода долота системы верхнего привода на всех этапах бурения, коэффициенты C и K при этом остаются теми же. Из таблицы видно, что мощность на валу электродвигателя системы верхнего привода достигает своего номинального значения к концу пятого этапа бурения в точке 2. Начиная с этого момента на пятом этапе бурения в точке 2 следует ограничивать частоту вращения двигателя системы верхнего привода.

Тогда процесс бурения будет протекать по кривой постоянства мощности до точки 3, мощность привода будет использована полностью. Шестой и седьмой этапы полностью будут протекать по кривой постоянства мощности.

Таблица 3. – Результаты расчетов при бурении скважины верхним приводом и турбобуром

Этап	$n_p',$ с ⁻¹	C	K	$N_{x,b}',$ кВт	$N_{зав}',$ кВт	$N_p',$ кВт	$N_{свп}',$ кВт	$\omega_{эд}',$ рад/с	$M_{эд}',$ кН·м
I	2	0,084	0,000472	0,000	27,798	3,089	30,887	153,89	0,201
	2	0,084	0,000472	11,527	27,798	4,369	43,695	153,89	0,284
II	2	0,084	0,000827	11,475	48,647	6,680	66,802	153,89	0,434
	2	0,084	0,000827	15,851	48,647	7,166	71,665	153,89	0,466
III	1	0,083	0,000827	4,428	–	0,492	4,920	76,94	0,064
	1	0,083	0,000827	6,017	–	0,669	6,685	76,94	0,087
IV	1	0,066	0,00062	4,744	–	0,527	5,271	76,94	0,069
	1	0,066	0,00062	6,764	–	0,752	7,515	76,94	0,098
V	1	0,118	0,00062	12,106	–	1,345	13,451	76,94	0,175
	1	0,118	0,00062	22,398	–	2,489	24,886	76,94	0,323
VI	1	0,062	0,000453	11,766	–	1,307	13,073	76,94	0,170
	1	0,062	0,000453	13,402	–	1,489	14,891	76,94	0,194
VII	1	0,139	0,000453	30,280	–	3,364	33,644	76,94	0,437
	1	0,139	0,000453	37,798	–	4,200	41,998	76,94	0,546

Использование системы верхнего привода в качестве привода долота на протяжении всего цикла строительства скважины не всегда возможно. Это связано с технологическими особенностями бурения — необходимостью использования тубобуров-отклонителей для обеспечения необходимого наклона скважины, использованием специальной компоновки бурильной колонны с телеметрическим оборудованием и т. д. Мощность привода в основном определяется необходимостью развинчивания труб с большим моментом при проведении спуско-подъемных операций, момент развинчивания которых может достигать 100 кН·м.

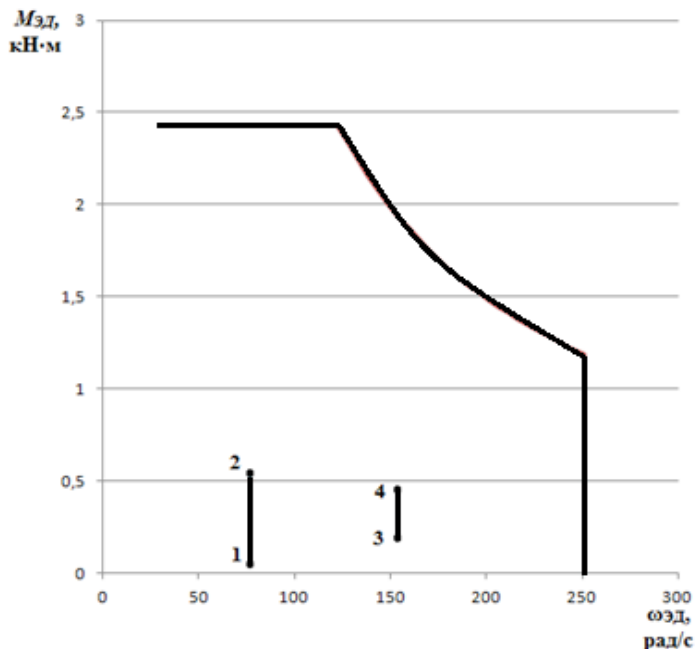


Рисунок 4. Расчетные кривые при бурении с использованием верхнего привода и турбобура

Таблица 4. – Результаты расчетов при бурении скважины верхним приводом

Этап	$n_{п'}$ с ⁻¹	$N_{х.в'}$ кВт	$N_{заб'}$ кВт	$N_{п'}$ кВт	$N_{свп'}$ кВт	$\omega_{ЭД'}$ рад/с	$M_{ЭД'}$ кН·м
I	2	0,000	27,798	3,089	30,887	153,89	0,201
	2	11,527	27,798	4,369	43,695	153,89	0,284
II	2	11,475	48,647	6,680	66,802	153,89	0,434
	2	15,851	48,647	7,166	71,665	153,89	0,466
III	2	15,743	48,647	7,154	71,545	153,89	0,465
	2	21,392	48,647	7,782	77,821	153,89	0,506
IV	2	16,867	218,930	26,200	261,997	153,89	1,703
	2	24,047	218,930	26,997	269,975	153,89	1,754
V	2	43,042	218,930	29,108	291,080	153,89	1,892
	1,831	67,752	200,431	29,798	297,981	140,88	2,115
VI	2,541	64,831	203,362	29,799	297,992	195,51	1,524
	2,473	70,271	197,920	29,799	297,990	190,28	1,566
VII	2,0027	107,922	160,281	29,800	298,003	154,10	1,934
	1,869	118,717	149,580	29,811	298,108	143,81	2,073

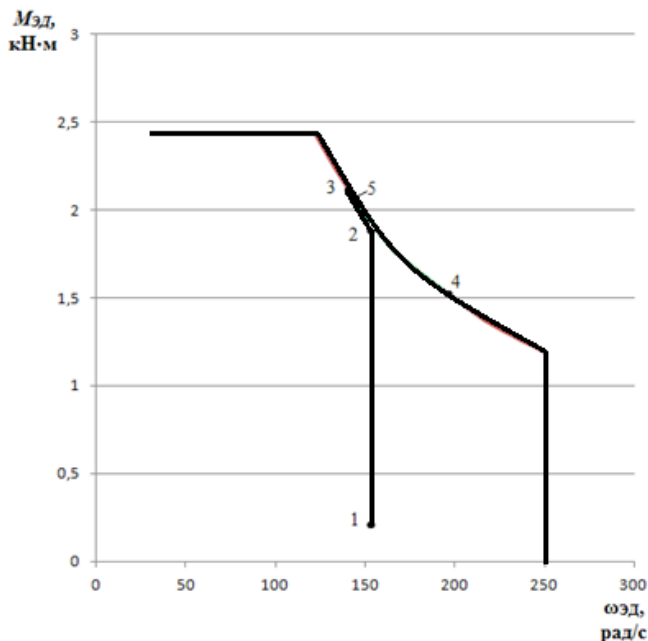


Рисунок 5. Расчетные кривые при бурении с использованием верхнего привода

Формулы (1) — (8) справедливы так же и для роторного бурения. Мощность, расходуемая на потери в механизмах привода ротора $N_{п.}$ имеет более сложную зависимость. Это связано с тем, что передача к ротору осуществляется либо через редуктор и коробку перемены передач лебедки при комбинированном электроприводе, либо через редуктор и карданный вал при регулируемом электроприводе, то есть со сложной кинематической схемой. В практических расчетах для определения мощности $N_{п.}$, зависящей от типа, состояния оборудования и частоты вращения, применяются формулы Б. М. Плюща и В. С. Федорова¹:

$$N_{п.} = k \cdot n_p^{1.5} \quad (13)$$

$$N_{п.} = a_1 \cdot n + a_2 \cdot n_p^2, \quad (14)$$

где a_1, a_2, k — коэффициенты, зависящие от типа применяемого оборудования; n_p — угловая скорость ротора.

Общим существенным недостатком бурения с использованием в качестве привода долота системы верхнего привода и ротора является значительные потери мощности на холостое вращение колонны бурильных труб. Из таблицы

¹ Электроэнергетика нефтяных и газовых промыслов: производственное (практическое) издание/под ред. Т. А. Атакишиева. – М.: Недра, – 1988. – 221 с.

4 видно, что по мере увеличения глубины скважины мощность $N_{x.6}$ становится соизмерима с мощностью на разбуривание породы $N_{заб}$. Тем не менее, использование системы верхнего привода экономически оправдано ввиду высокой автоматизации системы управления. Система верхнего привода позволяет вести контроль и регулирование частоты вращения и момента, автоматизировать процесс бурения и проведения спуско-подъемных операций¹.

Буровая лебёдка предназначена для подъёма и спуска колонны бурильных труб с целью замены износившегося долота. Процесс подъема из скважины колонны, состоящей из отдельных свечей, представляет собой чередование основной и вспомогательных операций:

- основная операция — подъем бурильной колонны на длину одной свечи (около 25 м);
- вспомогательные операции: установка колонны на стол ротора; отвинчивание поднятой свечи от бурильной колонны и установка ее внутри буровой на подсвечник;
- спуск незагруженного элеватора для захвата колонны.

Спуск колонны производят в обратной последовательности. Продолжительность подъема и спуска каждой свечи складывается из машинного и машинноручного времени. Машинное время — это продолжительность работы главного привода и представляет собой время подъема (спуска) колонны на длину одной свечи. Время, затрачиваемое на машинно-ручные операции — это время выполнения вспомогательных операций.

Кроме спуска и подъема бурильных и обсадных труб с помощью лебедки выполняют также следующие операции: удержание колонны труб на весу в процессе бурения или при промывке скважины; приподъем бурильной колонны бурильных труб при ее наращивании; вспомогательные работы по свинчиванию и развинчиванию труб; по подтаскиванию в буровую оборудования, труб и др.

Буровая лебедка состоит из сварной рамы, на которой установлены подъемный и трансмиссионный валы, коробка перемены передач, тормозная система, включающая основной (ленточный) и вспомогательный (регулирующий) тормоза, пульт управления. Все механизмы закрыты предохранительными щитами. Подъемный вал лебедки, получая вращение от коробки передач, преобразовывает вращательное движение силового привода в поступательное движение талевого каната, подвижный конец которого закреплен на барабане подъемного вала. Нагруженный крюк поднимается с затратой мощности, зависящей от веса под-

¹ Шабанов В. А., Никулин О. В. Об особенностях эксплуатации электрооборудования и средств автоматизации систем верхнего привода // Rogtec Российские нефтегазовые разработки, Выпуск 45, – 2016, – С. 40–50.

нимаемых труб, а спускается под действием собственного веса труб или талевого блока, крюка и элеватора, когда элеватор опускается вниз за очередной свечой.

Для повышения КПД во время подъема колонны переменного веса лебедку или ее привод выполняют многоскоростными. Переключение с высшей скорости на низшую и обратно осуществляется фрикционными оперативными муфтами, обеспечивающими плавное включение. Во время подъема колонн различного веса скорости в коробках передач переключают периодически.

Для подъема колонны бурильных труб весом Q с установившейся скоростью $V_{уст}$ потребуется мощность¹

$$P_n = QV_{уст}. \quad (15)$$

При подъеме колонны по мере уменьшения числа свечей длина и вес колонны бурильных труб дискретно уменьшаются. При этом дискретно уменьшается момент статического сопротивления на валу приводного электродвигателя. Наибольшая производительность лебедки и полная загрузка привода может быть достигнута, если по мере подъема труб, скорость подъема будет увеличиваться так, чтобы для мощности P_{Δ} на валу двигателя выполнялось условие

$$P_{\Delta} = \frac{M_{\phi} \cdot \omega_{\phi}}{\eta} = const,$$

где M_{ϕ} — момент сопротивления на валу барабана лебедки; ω_{ϕ} — угловая скорость барабана лебедки; η — КПД всех передач от двигателя к барабану лебедки.

Для выполнения приведенного условия электропривод буровой лебедки должен обеспечивать многоступенчатое регулирование скорости вращения. Передаточные числа, число передач и диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя выбирают таким образом, чтобы характеристика привода была близка к кривой постоянной мощности, которой в координатах Q, ω соответствует «кривая постоянства мощности» на рисунке 6.

В случае если скорость подъема колонны регулируется с помощью четырехскоростной (I, II, III, IV) трансмиссии и в качестве привода используется синхронный двигатель, у которого скорость не зависит от момента, вместо непрерывной параболы в координатах Q, ω получаем четырехступенчатую ломаную 1-2-3-4-5-6-7-8, проходящую ниже кривой постоянства мощности. Поэтому потребляемая от двигателя мощность при любом весе колонны (кроме точек 1, 3, 5, 7) будет меньше номинальной, и двигатель будет практически всегда недогружен. При этом КПД и коэффициент мощности двигателя будут ниже номинальных, что приведет к повышению потерь электроэнергии, как в двигателе, так и в питающей сети.

¹ Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М. Электропривод буровых лебедок. – М.: Недра, – 1978. – 304 с; Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М., Шпилевой В. А. Электропривод, электрооборудование и электроснабжение буровых установок. – Тюмень, – 1999. – 263 с.

Для увеличения среднего коэффициента загрузки электропривода буровой лебедки в начале работы на каждый из передач (в точках 1, 3, 5, 7) допускается перегрузка двигателя. Допустимые коэффициенты перегрузки зависят от типа буровой установки и мощности привода¹. В качестве примера рассмотрим режимы работы буровой лебедки ЛБУ-750. Номинальная мощность электродвигателя 315 кВт. Скорости подъема колонны и грузоподъемность на крюке лебедки приведены в таблице 4.

Кривая постоянства мощности двигателя и механическая характеристика буровой лебедки ЛБУ-750 по данным таблицы 4 приведены на рисунке 7. Как видно из рисунка в точках 1, 3, 5 и 7 электродвигатель работает с перегрузкой, а в точках 2, 4 и 6 электродвигатель недогружен.

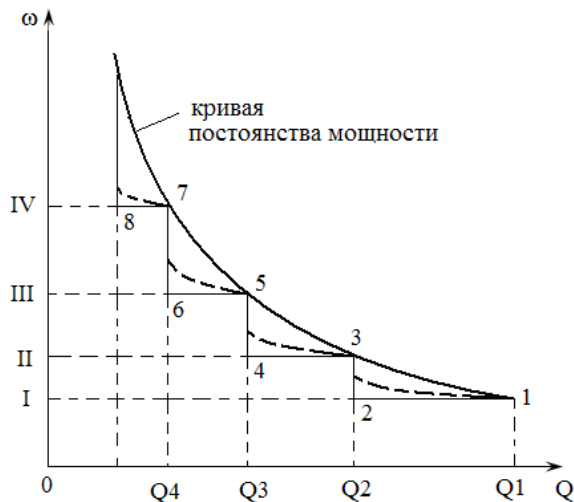


Рисунок 6. Зависимость скорости подъема колонны от усилий (веса) на крюке

Таблица 4. – Технические характеристики буровой лебедки ЛБУ-750

Скорости лебедки	Число оборотов барабана, об/мин	Скорость подъема, м/с	Грузоподъемность, кН
I	85	0,37	750
II	144	0,52	640
III	248	0,89	360
IV	420	1,99	190
Кратковременная аварийная нагрузка на первой скорости		0,32	1000

¹ Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М. Электропривод буровых лебедок. – М.: Недра, – 1978. – 304 с; Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М., Шпилевой В. А. Электропривод, электрооборудование и электроснабжение буровых установок. – Тюмень, – 1999. – 263 с.

Средняя мощность на каждой передаче приблизительно постоянная. Точное равенство средних мощностей на каждой из передач будет в случае равенства площадей между кривой постоянства мощности и ступенчатой ломаной зависимости скорости подъема колонны бурильных труб от усилий (веса) на крюке. При нерегулируемом приводе это может быть достигнуто соответствующим выбором числа свеч, поднимаемых на каждой из передач. Однако и при равных средних мощностях двигатель во время подъема не будет работать в номинальном режиме: он будет либо перегружен, либо недогружен.

В отечественных буровых установках с нерегулируемым электроприводом буровой лебедки применяются асинхронные двигатели с фазным ротором серий АКБ и АКСБ и синхронные двигатели серии СДБО в сочетании с электромагнитной муфтой скольжения¹, которые имеют мягкую механическую характеристику.

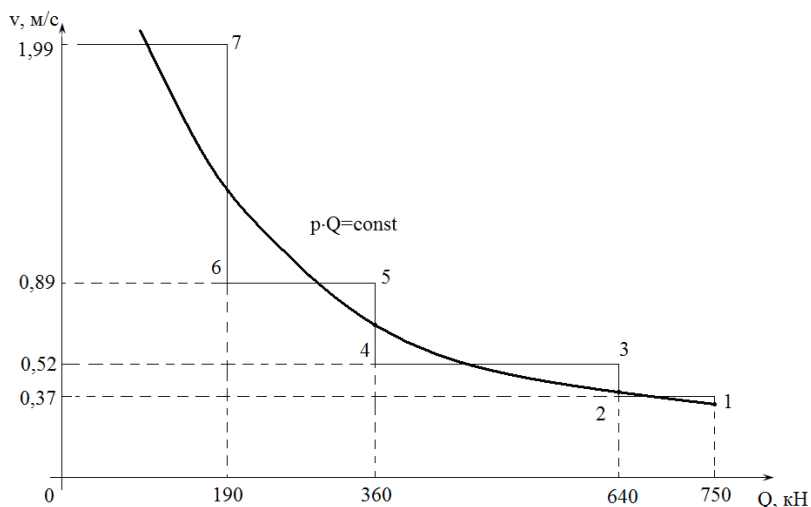


Рисунок 7. Зависимость скорости подъема от усилий на крюке буровой лебедки ЛБУ-750 при нерегулируемом синхронном приводе

Если привод буровой лебедки будет иметь мягкую механическую характеристику, то при снижении веса на крюке скорость двигателя будет несколько возрастать. При этом будет расти и скорость подъема колонны и вместо горизонтальных участков 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 получим кривые, приближающиеся к кривой постоянства мощности (показаны пунктиром на рисунке 6). В результате нагрузка двигателя будет приближаться к номинальной, но двигатель все равно остается недогруженным.

Использование двигателей с мягкой механической характеристикой несколько уменьшает разброс нагрузок двигателя. Для построения механической характери-

¹ Меньшов Б. Г., Суд И. И. Электротехнические устройства буровых установок. – М.: Высшая школа, – 1986. – 191 с; Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М. Электропривод буровых лебедок. – М.: Недра, – 1978. – 304 с

стики лебедки с электродвигателем, имеющим мягкую механическую характеристику, определяют моменты на валу двигателя в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 по формуле

$$M_i = \frac{Q_i \cdot r}{i_m \cdot i_p \cdot \eta},$$

где Q_i — вес колонны на крюке на i -й передаче, с учетом веса крюко-блока, кН; r — радиус барабана лебедки, м; i_m, i_p — передаточные отношения талевого системы и редуктора; η — К. П. Д. всех передач от колонны до двигателя.

Участок рабочей характеристики асинхронного двигателя можно принять линейным, тогда

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{M_{ном}} \cdot (\omega_0 - \omega_{ном}), \quad (16)$$

где $M_{ном}$ — номинальный момент электродвигателя, кНм; ω_0 — частота вращения магнитного поля, об/мин; $\omega_{ном}$ — номинальная частота вращения.

По формуле (16) определяется частота вращения двигателя при подъеме последней свечи на каждой из передач. Далее через передаточные отношения I и радиус приведения ρ определяется скорость подъема крюка v

$$v = \frac{\omega \cdot \rho}{i}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу 5 (расчеты выполнены О. В. Никулиным)¹.

Таблица 5. – Механические параметры режима работы лебедки ЛБУ-750 при нерегулируемом асинхронном приводе

Скорость	I		II		III		IV	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Точка характеристики								
Момент, кНм	3,37	2,88	4,88	2,74	4,72	2,49	4,22	0,7
i	11,758		6,94		4,034		2,379	
ρ , м/рад	0,0415		0,0345		0,034		0,045	
ω_d рад/с (об/мин)	99,95 (955)	100,6 (961,6)	97,86 (935)	100,8 (963,5)	98 (937)	101,2 (966,8)	98,7 (943,7)	103,68 (990,6)
v , м/с	0,352	0,355	0,486	0,5	0,825	0,853	1,867	1,96

Кривая постоянства мощности и механическая характеристика буровой лебедки ЛБУ-750 по данным таблицы 5 приведены на рисунке 8.

Из рисунка 8 видно, что электродвигатель с мягкой механической характеристикой перегружается меньше, чем с жесткой. Однако неравномерность нагрузки остается существенной и нагрузка электродвигателя в большей части циклов подъема далека от оптимальной.

¹ Шабанов В. А. Основы регулируемого электропривода основных механизмов бурения, добычи и транспорта нефти: учеб. пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, – 2009. – 156 с.

Для того, чтобы приблизиться к кривой постоянства мощности привод буровой лебедки должен быть регулируемым. При регулируемом приводе для буровой лебедки ЛБУ-750 скорость в точке 1 при работе на первой передаче слееет обеспечить равной

$$v_1 = \frac{P_d \cdot \eta}{Q1} = \frac{315 \cdot 0,8}{750} = 0,34 \text{ м/с.}$$

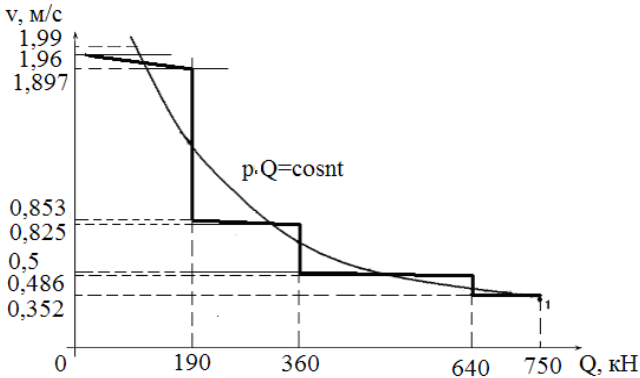


Рисунок 8. Зависимость скорости подъема от усилий на крюке буровой лебедки с электродвигателем с мягкой механической характеристикой

Скорость вращения электродвигателя при этом составит 96,4 рад/с (921 об/мин).

Скорость в точке 2 должна быть

$$v_2 = \frac{P_d \cdot \eta}{Q1} = \frac{315 \cdot 0,8}{640} = 0,39 \text{ м/с.}$$

Скорость вращения электродвигателя при этом составит 110,5 рад/с (1055,7 об/мин).

Таким образом, начальная скорость подъема колонны бурильных труб на первой передаче при максимальной нагрузке должна быть 0,34 м/с, а затем по мере дискретного снижения нагрузки скорость должна плавно увеличиться до 0,39 м/с. Нагрузка на валу электродвигателя при этом будет номинальной. Результаты расчета для других передач сведены в таблицу 6.

Таблица 6. – Механические параметры БЛ при регулируемом электроприводе

Скорость	I		II		III		IV	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Точка характеристики								
v , м/с	0,34	0,39	0,39	0,7	0,7	1,33	1,33	1,99
ω , рад/с (об/мин)	96,4 (921)	110,5 (1055,7)	78,4 (749)	140,8 (1345)	83 (793)	157,3 (1503)	70,2 (670)	105,19 (1005)

Номинальная частота вращения приводного электродвигателя составляет 1000 об/мин (104,6 рад/с), При этом в точках 4, 6 и 8 требуемая скорость вращения электродвигателя превышает номинальную. Определим максимальную скорость подъема крюка для каждой передачи, исходя из того, что скорость вращения электродвигателя не должна превышать номинальную. Получим максимально допустимые скорости подъема крюка $v_1 = 0,37$ м/с; $v_2 = 0,52$ м/с; $v_3 = 0,88$ м/с; $v_4 = 1,99$ м/с.

Сравнивая полученные значения с данными таблицы 6, можно сделать вывод, что при регулируемом электроприводе можно начинать подъем колонны на второй передаче и работать на ней до достижения скорости подъема колонны 0,52 м/с. Затем следует переключиться на четвертую передачу и продолжать работу до достижения скорости 1,99 м/с.

Механическая характеристика при работе буровой лебедки на двух передачах приведена на рисунке 9.

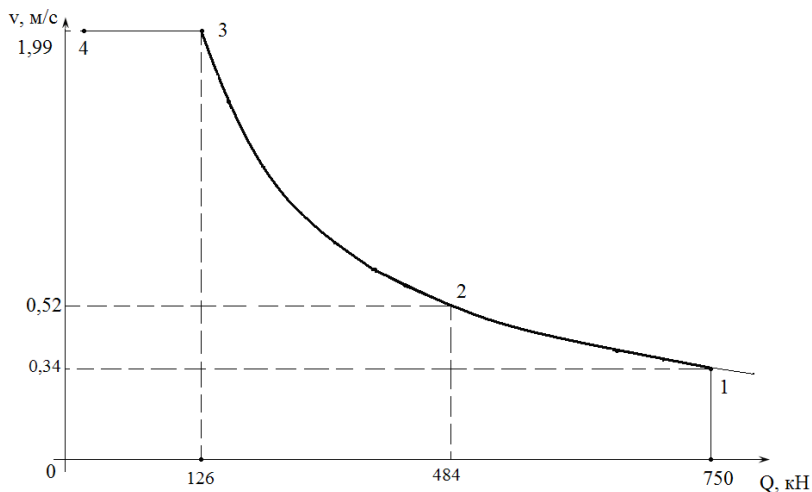


Рисунок 9. Механическая характеристика буровой лебедки с регулируемым электроприводом при использовании двух передач трансмиссии

Зависимость частоты вращения электродвигателя от усилий на крюке показана на рисунке 10.

В современных регулируемых электроприводах буровых установок используются даигатели, которые допускают работу с повышенными скоростями. При этом основная часть циклов спуско-подъемных операций выполняется при скоростях выше номинальной¹.

¹ Шабанов В. А. Основы регулируемого электропривода основных механизмов бурения, добычи и транспорта нефти: учеб. пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, – 2009. – 156 с.

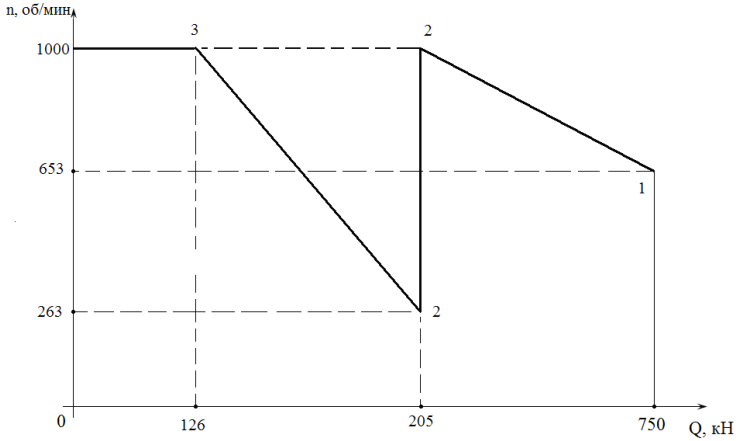


Рисунок 10. Зависимость частоты вращения электродвигателя буровой лебедки от усилий на крюке с регулируемым электроприводом при использовании двух передач трансмиссии

Давление p на выходной линии бурового насоса определяется как сумма гидравлических сопротивлений в каждом элементе системы кругового движения промывочной жидкости¹:

$$p_{\text{БН}} = p_{\text{к.п.}} + p_{\text{д.}} + p_{\text{н.л.}} + p_{\text{УБТ}} + p_{\text{БТ}} \quad (17)$$

где $p_{\text{БН}}$ — общее давление на выходной линии, МПа; $p_{\text{к.п.}}$ — гидравлические потери в кольцевом пространстве, МПа; $p_{\text{д.}}$ — потери в долоте, МПа; $p_{\text{н.л.}}$ — потери в напорной линии, МПа; $p_{\text{УБТ}}$ — потери в утяжеленной буровой трубе, МПа; $p_{\text{БТ}}$ — потери в буровых трубах, МПа.

Потери в напорной линии (манифольд, стояк, буровой шланг и вертлюг, квадратная штанга) определяются по формуле:

$$p_{\text{н.л.}} = \alpha_{\text{н.л.}} \cdot \rho \cdot Q^2, \quad (18)$$

где $\alpha_{\text{н.л.}}$ — коэффициент, пропорциональный коэффициенту сопротивления для напорной линии, $\alpha_{\text{н.л.}} = 0,0034$; ρ — удельный вес промывочной жидкости, г/см³.

Падения давлений в буровых $p_{\text{БТ}}$ в утяжеленных буровых трубах $p_{\text{УБТ}}$ в кольцевом пространстве $p_{\text{к.п.}}$ и долоте $p_{\text{д.}}$ могут быть определены по формулам

$$p_{\text{БТ}} = \alpha_{\text{БТ}} \cdot \rho \cdot Q^2 \cdot L, \quad (19)$$

$$p_{\text{УБТ}} = \alpha_{\text{УБТ}} \cdot \rho \cdot Q^2 \cdot l_{\text{УБТ}}, \quad (20)$$

$$p_{\text{к.п.}} = \alpha_{\text{к.п.}} \cdot \rho \cdot Q^2 \cdot L, \quad (21)$$

$$p_{\text{д.}} = \alpha_{\text{д.}} \cdot \rho \cdot Q^2, \quad (22)$$

где $\alpha_{\text{БТ}}$, $\alpha_{\text{УБТ}}$, $\alpha_{\text{к.п.}}$, $\alpha_{\text{д.}}$ — коэффициент, пропорциональный коэффициенту сопротивления для буровых и утяжеленных буровых труб, кольцевого пространства

¹ Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин. — М.: Недра, — 1967. — 400 с

и долота, соответственно; $L, l_{\text{убт}}$ — длина колонны бурильных и утяжеленных бурильных труб, соответственно, м.

Гидравлические потери в долоте, потери в напорной линии, потери в утяжеленных бурильных трубах при постоянной подаче не зависят от глубины скважины. Потери в кольцевом пространстве пропорциональны глубине скважины (L). Потери в бурильных трубах пропорциональны длине труб ($L_{\text{бт}} = L - L_{\text{убт}}$)¹.

Потери в бурильных трубах складываются из потерь в утяжеленных бурильных трубах и потерь в остальной части колонны бурильных труб. В случае турбинного бурения к сумме гидравлических сопротивлений добавляется перепад давлений в турбобуре (винтовом забойном двигателе и т. п.).

Мощность нагрузки на валу электродвигателя пропорциональна произведению подачи насоса на развиваемый им напор

$$P = (Q \cdot p_{\text{бн}}) / \eta_{\text{н}}, \quad (23)$$

$\eta_{\text{н}}$ — КПД бурового насоса².

В начале бурения скважины давление, создаваемое насосом, невелико. По мере углубления скважины, вследствие увеличения гидравлического сопротивления труб возрастает и давление на выходе насоса, которое ограничено прочностью деталей насоса. Поэтому, начиная с определенной глубины скважины, подачу насоса необходимо ограничивать. С точки зрения снижения потерь мощности оптимальный режим работы бурового насоса характеризуется постоянством развиваемой мощности, равной номинальной $P_{\text{ном}}$, то есть³.

$$P_{\text{ном}} = p \cdot Q = \text{const}. \quad (24)$$

При выполнении этого условия приводной электродвигатель будет работать с наибольшим КПД. Условию (24) в координатах p – Q соответствует кривая, изображенная на рисунке 11.

Приблизиться к режиму постоянства мощности при нерегулируемом приводе можно за счет применения цилиндрических втулок разного диаметра, однако мощность привода будет недоиспользована и электродвигатель будет недогружен.

¹ Никулин О. В. Оптимизация смены втулок при установке преобразователей частоты для привода буровых насосов У8–6 М//Бурение и нефть. – 2009. – № 6. – С. 27–30; Никулин О. В. Частотно-регулируемый синхронный электропривод бурового насоса (разработка и исследование): Дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, – 2012. – 141 с.

² Никулин О. В. Частотно-регулируемый синхронный электропривод бурового насоса (разработка и исследование): Дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, – 2012. – 141 с.

³ Меньшов Б. Г., Ершов М. С., Яризов А. Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: учеб. для вузов. – М.: Недра, – 2000. – 487 с; Шабанов В. А. Электрооборудование и электропривод установок бурения: учеб. пособие. – Уфа: Уфимский нефтяной институт, – 1992. – 75 с.

Предположим, что бурение начинается в точке 1 при давлении на нагнетательном патрубке $p < p_3$ при втулке диаметром $D3$ и продолжается до точки 2. Продолжать работу с втулкой диаметром $D3$ выше точки 2 нельзя, так как давление поднимается выше p_3 (что недопустимо) и, кроме того, будет перегружен привод. Поэтому в точке 2 необходимо заменить втулку диаметром $D3$ на втулку диаметром $D2$. Это приведет к изменению гидравлической характеристики насоса. При этом подача насоса уменьшится от $Q3$ до $Q2$ и в соответствии с гидравлической характеристикой манифольда и скважины давление, развиваемое насосом, снизится скачком от p_3 (в точке 2) до давления, соответствующего точке 3.

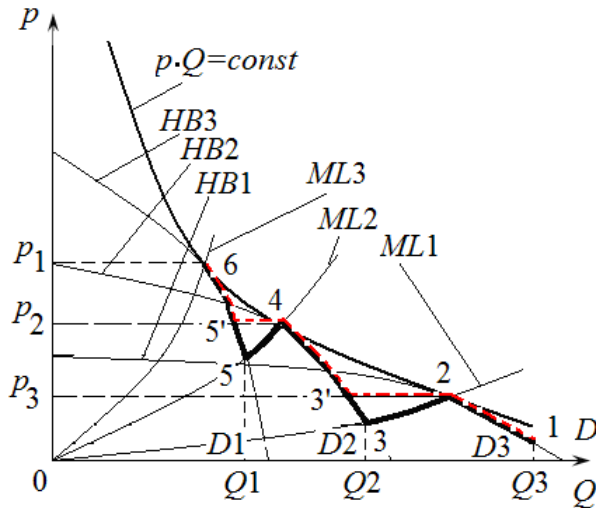


Рисунок 11. Режим работы бурового насоса

$HB1, HB2, HB3$ — характеристики насоса при различных диаметрах втулок; $ML1, ML2, ML3$ — характеристики манифольда и скважины в зависимости от глубины скважины

Если продолжать бурение с втулкой диаметром $D2$, то по мере углубления скважины давление в точке 4 достигнет p_2 , т. е. предельного значения, при котором необходимо заменить втулку диаметром $D2$ на втулку диаметром $D1$. Следовательно, в случае нерегулируемого привода насоса и периодической замены втулок процесс протекает по отрезкам 1–2, 3–4, 5–6 (рисунок 11). Увеличивая число типоразмеров втулок, можно только приблизиться к кривой $p \cdot Q = const$, но мощность привода будет использована не полностью¹.

¹ Электроэнергетика нефтяных и газовых промыслов: производственное (практическое) издание/под ред. Т. А. Атакишиева. – М.: Недра, – 1988. – 221 с.

При регулируемом электроприводе можно приблизиться к кривой постоянства мощности путем снижения частоты вращения приводного двигателя. Тогда процесс будет протекать по ступенчатой ломаной линии 1–2–3'–4–5'–6, причем по отрезкам 1–2, 3'–4, 5'–6 бурение идет при постоянной скорости вращения ЭД, а по горизонтальным отрезкам 2–3' и 4–5' – при регулируемой скорости (рисунок 11)¹.

Найденные значения мощности бурового ротора, системы верхнего привода, момента сопротивления, угловой скорости барабана буровой лебедки и мощности, скорости подъема крюка, давлений бурового насоса, являются исходными данными для расчёта основных электромеханических параметров работы электроприводов.

Типовые режимы работы буровых механизмов

Перечень технологических операций, обеспечивающих сооружение скважины, включает²:

- разрушение горных пород на забое;
- очистку скважины от шлама;
- регулирование внутрискважинного давления;
- регулирование физико-химического взаимодействия скважины с окружающими горными породами;
- изоляцию друг от друга технологически несовместимых и осложненных интервалов ствола;
- вскрытие продуктивных горизонтов;
- замену изношенного породоразрушающего инструмента, подземного оборудования и устройств;
- крепление ствола скважины;
- создание фильтра в продуктивной части ствола скважины;
- вызов притока флюида из пласта на дневную поверхность;
- освоение скважины.

Необходимо отметить, что, по мере углубления скважины, вследствие увеличения гидравлического сопротивления труб возрастает и давление на выходе насоса³, то есть увеличивается нагрузка бурового насоса. Одновременно с этим вследствие увеличения длины колонны бурильных труб (глубины скважины) увеличивается вес на крюке, что приводит к росту нагрузки на буровую лебедку, систему верхнего при-

¹ Никулин О. В., Шабанов В. А. Оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода буровых насосов в Азнакаевском УБР//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 1 (9). – С. 74–81.

² Басарьгин Ю.М, Булатов А. И., Проселков Ю. М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – 2001.

³ Никулин О. В., Шабанов В. А. Оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода буровых насосов в Азнакаевском УБР//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 1 (9). – С. 74–81..

вода и ротор. Таким образом, наибольшие нагрузки в электрической сети возникают к концу строительства скважины.

Строительство скважины сопровождается большим разнообразием технологических операций, изменяющиеся геологические условия бурения скважины, а также при строительстве сложных скважин, например, с выходом на дневную поверхность, приводят к тому, что в практике бурения возможны различные режимы работы оборудования буровой установки. Из всего разнообразия режимов работы, необходимо выбрать такие режимы, в которых оборудование работает в наиболее тяжелых условиях эксплуатации, как с точки зрения энергетических параметров, так и с точки зрения технологии проводки скважины.

С точки зрения выбора режимов работы электроприводов буровых механизмов будем рассматривать режимы работы буровой установки, сведенные в таблицу 7 в начале, когда нагрузка на буровые механизмы не велика, и в конце процесса бурения, при максимальной нагрузке.

Таблица 7. – Технологические режимы работы буровой установки

№	Технологические операции	Описание технологического процесса	Буровые механизмы, обеспечивающие процесс
1	Турбинное бурение	<ul style="list-style-type: none"> – разрушение горных пород на забое; – очистка скважины от шлама; – регулирование внутрискважинного давления; – регулирование физико-химического взаимодействия скважины с окружающими горными породами 	Буровые насосы
2	Роторное бурение	<ul style="list-style-type: none"> – разрушение горных пород на забое; – очистка скважины от шлама; – регулирование внутрискважинного давления; – регулирование физико-химического взаимодействия скважины с окружающими горными породами 	Буровые насос, ротор, система верхнего привода
3	Спуско-подъемные операции	<ul style="list-style-type: none"> – наращивание КБТ; – замена изношенного породоразрушающего инструмента, подземного оборудования и устройств 	Буровая лебедка
4	Вспомогательные операции	<ul style="list-style-type: none"> – изоляция друг от друга технологически несовместимых и осложненных интервалов ствола; – крепление ствола скважины; – создание фильтра в продуктивной части ствола скважины; – приготовление бурового раствора и т. д. 	Вспомогательные механизмы

Технологические и электрические параметры процесса бурения

Для сооружения направленных скважин используются специальные устройства и механизмы, позволяющие изменять траекторию движения рабочего органа по команде оператора¹. Они позволяют компенсировать влияние практически всех разнонаправленных отклоняющих факторов, являющихся причиной изменения первоначального курса. Кроме того, управляемый рабочий орган позволяет прокладывать скважины со сложной траекторией, включающей повороты в разных плоскостях².

Перспективным направлением развития данной области является применение современных информационных технологий основанных на использовании новых поколений измерительных систем и исполнительных механизмов, к которым относятся:

- телеметрические MWD системы (Measurement While Drilling), обеспечивающие точное определение формы траектории скважины в процессе бурения;
- телеуправляемые исполнительные механизмы, обеспечивающие оперативную коррекцию траектории движения бурового инструмента в процессе бурения³.

Рост объемов наклонно-направленного бурения скважин с углами отклонения ствола скважин от вертикали более 60° обусловили ограничения по применению традиционных методов исследований с помощью аппаратуры, спускаемой в скважину на кабеле, и вызвали необходимость разработки специальных технологий доставки скважинных приборов в интервал исследований. Решение этой проблемы возможно с помощью измерительных телеметрических систем, устанавливаемых в компоновку низа буровой колонны. Телеметрические системы регистрируют информацию о параметрах бурения на основе датчиков, установленных в ней, с последующей передачей (по каналу связи) измерительной информации в реальном масштабе времени на наземную станцию⁴.

¹ Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий//М.: Пресс Бюро. – 2005. – № 1.

² Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Чешин Д. О. Перспективы развития технологий направленного бурения скважин в прочных горных породах//Интерэкспо Гео-Сибирь, – № 3/ – том 2/ – 2015, – С. 49–53.

³ Нугаев И. Ф., Васильев В. И., Алимбеков Р. И., Шулаков А. С. Автоматизированная система управления траекториями нефтегазовых скважин с применением прогнозирующих моделей// Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, – № 5/ – том 8/ – 2006, – С. 27–32.

⁴ Беляков Н. В. Малогабаритная забойная телеметрическая система комбинированным каналом связи//НТВ АИС Каротажник. – 1997. – № 30. – С. 60–67; Голодных Е. В., Бориков В. Н. Ретрансляционный модуль для телеметрической системы с электромагнитным каналом связи// Фундаментальные исследования – № 5, – 2015, – С. 269–273; Гайван А. Г. ООО «ТНГ-Групп»: направления развития геонавигации при проводке горизонтальных скважин//Георесурсы, – № 3 (45), – 2012, – С. 64–67.

Немаловажное значение для управления бурением имеет информация по технологическим параметрам как с устья, так и забоя скважины. Современные забойные телесистемы позволяют получить следующую информацию со скважины¹:

- кривые гамма-каротажа, индукционного каротажа;
- нагрузка на долото;
- обороты вала двигателя;
- внешнее давление;
- зенитный угол;
- угол положения отклонителя;
- азимутальный угол;
- естественная радиоактивность окружающих скважину горных пород;
- температура;
- удельное электрическое сопротивление горных пород;
- литологическое расчленение разбуриваемых пород.

Объем информации, полученной со скважины в процессе бурения, часто позволяет отказаться от привязочных каротажей, что сокращает время и стоимость бурения, ускоряет прохождение прихватоопасных зон².

Кроме информации о параметрах, получаемых с забоя скважины, в процессе бурения для оперативного управления процессом бурения и предотвращения аварийных ситуаций необходим контроль работы наземного оборудования. Это обеспечивается системой наземного контроля параметров бурения, которая обеспечивает измерение, регистрацию и индикацию параметров технологического процесса бурения таких как³:

¹ Учайкина Е. С., Ройтман М. С. Описание типа забойной инклинометрической телесистемы ЗТС-И//XV Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии», – 218–220.

² Гайван А. Г. ООО «ТНГ-Групп»: направления развития геонавигации при проводке горизонтальных скважин//Георесурсы, – № 3 (45), – 2012, – С. 64–67.

³ Система контроля параметров бурения «Геотек»//Разработка и использование аппаратно-программных комплексов сбора обработки и анализа данных о процессе строительства скважин ГЕОТЕК. URL: http://geotek.ru/ktts.php?Page=control_sys (дата обращения: 06.11.2016); Система контроля процесса бурения (СКПБ) «ГЕОСЕНСОР»//ООО Научно-производственная фирма «Горизонт». URL: <http://www.npfgorizont.ru/html/geosensor.html> (дата обращения: 06.11.2016); Система технологического контроля параметров бурения «СГТ-микро»//ЗАО Московское СКБ «ОРЕОЛ». URL: <http://www.skboreol.ru/Products/products1.htm> (дата обращения: 06.11.2016); Комплекс средств контроля управления процессом бурения КУБ-2//Компания «ГЕОФИТ». URL: http://geofit.ru/index.php?id=8&Itemid=9&option=com_content&view=article (дата обращения: 06.11.2016); Системы контроля параметров бурения ADMS//Центр комплектации «СпецТехноРесурс». URL: <http://td-str.ru/file.aspx?id=11666> (дата обращения: 06.11.2016); Система контроля параметров бурения “Burdata”//Компания Автосфера. URL: <http://burdata.ru/dis.html> (дата обращения: 06.11.2016); Система контроля параметров бурения «КОНТУР-2»//ООО

- состояние воздушной среды на загазованность;
- момент на роторе;
- вес на крюке буровой лебедки;
- момент на буровом ключе;
- плотность промывочной жидкости;
- давление промывочной жидкости;
- расход промывочной жидкости;
- уровень промывочной жидкости в технологических емкостях;
- частота вращения барабана буровой лебедки;
- число двойных ходов штока бурового насоса;
- частота вращения бурового ротора;
- момент на буровом роторе.

Существует три основных способа передачи данных от забойной телесистемы на поверхность в реальном времени: электропроводный, гидравлический и электромагнитный каналы связи.

Современные телесистемы для каротажа в процессе бурения в основном используют гидравлический и электромагнитный каналы связи. При этом при бурении скважин глубиной более 1 километра в основном используют гидравлический канал связи¹.

Электропроводной канал связи² обладает преимуществом перед всеми известными каналами связи, так как является наиболее информативным, быстрым и помехоустойчивым. Однако его применение при бурении затруднено необходимостью прокладки кабеля в бурильной колонне.

Телесистемы с гидравлическим каналом связи³ отличаются от других наличием в них устройства, создающего в потоке бурового раствора импульсы давления. Для генерирования импульсов давления в буровом растворе используются несколько различных по типу устройств. Сигнал, создаваемый ими, подразделя-

НПП «Геосфера». URL: <http://www.geosferatver.ru/control/kontur-2/kontur-2.php> (дата обращения: 06.11.2016); Комплекс средств наземного контроля ТМ КУБ//АО НПП «Тетран». URL: <http://tngi.ru/production.html> (дата обращения: 06.11.2016); Станция контроля параметров бурения (СКПБ) на основе измерительного комплекса ИВЭ-50//ЗАО «Предприятие В-1336». URL: <http://v-1336.ru/ru/produkcija/novye-razrabotki/ckpb.html> (дата обращения: 06.11.2016).

¹ Тейтельбаум Д. В., Власов А. А. Быстрые алгоритмы декодирования данных забойной телесистемы, использующей гидравлический канал связи//Интерэкспо Гео-Сибирь, – № 3/ – Т. 2/ – 2014.

² Рогачев О. К., Дыщенко А. А. По-русски – телеметрия, по-английски – MWD//Современное машиностроение. URL: <http://www.sovmash.com/node/62> (дата обращения: 06.11.2016).

³ Drilling Services//Schlumberger. URL: <http://www.slb.com/services/drilling.aspx> (дата обращения: 06.11.2016).

ется на три вида: положительный импульс, отрицательный импульс или непрерывная волна¹.

К недостаткам данного канала связи можно отнести низкую информативность из-за относительно низкой скорости передачи, низкая помехоустойчивость, последовательность в передаче информации.

Системы с электромагнитным каналом связи используют электромагнитные волны (токи растекания) между изолированным участком колонны бурильных труб и породой. На поверхности земли сигнал принимается как разность потенциалов от растекания тока по горной породе между бурильной колонной и приемной антенной, устанавливаемой в грунт на определенном расстоянии от буровой установки. К преимуществам ЭМКС относится несколько более высокая информативность по сравнению с гидравлическим каналом связи. К недостаткам — дальность связи, зависящая от проводимости и перемежаемости горных пород, слабая помехоустойчивость, сложность установки антенны в труднодоступных местах².

В качестве наземной системы контроля параметров бурения используется динамометр электронный ДЭЛ-140 (150)³, принимающий сигналы датчиков в реальном времени, обработку измерений и передачу обработанных данных⁴. Передача данных в большинстве случаев происходит по проводным линиям. Которые имеют такие недостатки, как значительное время развёртывания, низкую монтажеспособность, уязвимость от механических воздействий, что может привести к останову процесса бурения. Для решения этих проблем предлагается использование беспроводных технологий.

Контролируемые параметры ДЭЛ-140 (150) — нагрузка на крюк буровой лебедки, нагрузка на долото, крутящий момент ротора, величина и динамика технологических давлений и др⁵. Связь модуля управления с датчиками технологических параметров осуществляется по технологии Wi-Fi. Для связи по Wi-Fi использован микроконтроллер с интерфейсом Wi-Fi.

¹ Рогачев О. К., Лыщенко А. А. По-русски – телеметрия, по-английски – MWD//Современное машиностроение. URL: <http://www.sovmash.com/node/62> (дата обращения: 06.11.2016).

² Технические средства, методические разработки, технологии, услуги в области геофизических исследований скважин. Краткий каталог//ОАО НПП ВНИИ Геофизических исследований скважин. URL: <http://vniigis.com/pdf/Каталог%20ВНИИГИС%202016.pdf> (дата обращения: 06.11.2016).

³ Система контроля технологических параметров бурения и ремонта скважин//Сфера, нефть и газ, – № 3 (41), – 2014, – С. 142–144.

⁴ Квашнин Г. П. Организация производства и экономика бурения скважин. – М., Недра, – 1984. – 245 с.

⁵ Комплекс ДЭЛ-150/«Петролайн-А» URL: <http://pla.ru/products/del-150> (Дата обращения: 08.01.2017).

Так как в динамометре ДЭЛ-140 (150) используется стандарт RS-485, то для связи модуля управления и датчиков с микроконтроллером используется преобразователь интерфейсов, который преобразует RS-485 в транзисторно-транзисторную логику. Для автономной работы датчиков используется аккумуляторная батарея. Для согласования уровня питающего напряжения использован регулируемый понижающий преобразователь. Использование беспроводных технологий позволит отказаться от прокладки кабельных соединений, повысить гибкость и обеспечить мобильность системы контроля параметров бурения¹.

Помимо необходимости получения информации с забоя и наземного оборудования при бурении скважин в условиях завершающей стадии разработки нефтяных и газовых месторождений выросли требования к электроприводу основных — буровых лебедок, роторов, насосов и систем верхнего привода — и вспомогательных механизмов буровых установок. Наиболее полное использование мощности основных буровых механизмов, возможность оптимального ведения технологических процессов бурения, повышение показателей бурения в целом обеспечивает регулируемый электропривод².

В процессе углубления скважины можно изменять определенные параметры, которые принято называть параметрами режима бурения³: осевую нагрузку на долото G (динамическую и статическую), расход промысловой жидкости и параметры, характеризующее ее свойства, частоту вращения долота (или буровой колонны — для роторного бурения).

Без прекращения процесса углубления скважины можно изменять давление на выкидке бурового насоса или в буровой колонне и вращательный момент для работы долота или на валу забойного двигателя (P_n , M_b и M_a). Изменяя тот или иной параметр средствами регулируемого электропривода с использованием информационных данных с забоя и наземного оборудования можно добиться оптимального режима бурения⁴.

¹ Хусниев А. С., Никулин О. В., Хайдаров Р. Р. Беспроводная передача данных в системе контроля параметров бурения // Материалы региональной научно-практической конференции «Научная сессия студентов АГНИ» 21–25 марта 2016 г. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2016. – С. 126.

² Шабанов В. А., Никулин О. В. Исследование режимов частотного регулирования синхронного электропривода бурового насоса // Проблемы строительного комплекса России: материалы 14-й Международной научно-технической конференции при 14 – специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение». – 2010. – С. 59–60.

³ Овчинников В. П., Грачев С. И., Фролов А. А. Справочник бурового мастера: учеб.-практ. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, – 2006. – Т. 1. – 608 с; Овчинников В. П., Грачев С. И., Фролов А. А. Справочник бурового мастера: учеб.-практ. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, – 2006. – Т. 2. – 608 с.

⁴ Балденко Д. Ф., Веревкин А. В., Плотников В. М. Пути дальнейшего совершенствования

Методика оценки эффективности дополнительных затрат при внедрении частотно-регулируемого электропривода бурового насоса

Экономическая эффективность частотного электропривода бурового насоса обусловлена снижением времени бурения скважины; снижением потерь мощности и электроэнергии в электродвигателе и снижением расхода электроэнергии на потери давления в манифольде¹.

Снижение времени бурения за счет регулируемого электропривода. Энергия, требуемая для разрушения породы при нерегулируемом $W_{нер.}$ и регулируемом $W_{рег.}$ электроприводах, одна и та же $W_{нер.} = W_{рег.}$. Тогда будут равны и произведения средних потребляемых мощностей за время бурения²

$$P_{нер.} \cdot T_{нер.} = P_{рег.} \cdot T_{рег.} \quad (25)$$

где $P_{нер.}$ и $P_{рег.}$ средние мощности во время бурения при нерегулируемом и регулируемом ЭП на участках; $T_{нер.}$ и $T_{рег.}$ время на разбуривание породы при нерегулируемом и регулируемом электроприводе.

По мере углубления скважины растут потери напора в скважине, а, следовательно, растет и давление на выходе насоса. При постоянной подаче насоса это приводит к росту нагрузки электродвигателя. При некоторой глубине бурения мощность нагрузки электродвигателя достигает номинального значения. С этого момента начинается регулирование частоты вращения электродвигателя. Если регулирование выполнять по закону постоянства мощности, то мощность нагрузки в процессе бурения будет поддерживаться примерно постоянной. Таким образом, при регулируемом электроприводе средняя мощность равна номинальной $P_{рег.}$, тогда из выражения (25) получаем

$$T_{рег.} = \frac{P_{нер.}}{P_{рег.}} \cdot T_{нер.} \quad (26)$$

То есть время бурения при регулируемом электроприводе снижается.

Снижение потерь мощности и электроэнергии в электродвигателе при частотном регулировании обусловлено повышением коэффициента загрузки β и КПД η электродвигателя. Если регулирование выполнять по закону постоянства

технологии бурения скважин с применением винтовых забойных двигателей//Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т. 15, – № 19. – С. 165–174; Вerveкин А. В. К вопросу автоматизации процесса бурения нефтяных и газовых скважин винтовыми забойными двигателями//Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 10, – С. 49–65.

¹ Шабанов В. А., Никулин О. В. Энергосберегающий синхронный частотно-регулируемый электропривод бурового насоса//Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Труды Всероссийского научно-практического семинара в г. Салават. – Уфа: «Гилем». – 2010. – С. 213–217.

² Шабанов В. А., Никулин О. В. Определение характеристик частотного регулирования синхронных двигателей на примере системы автоматического регулирования электропривода буровых насосов//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 3. – С. 72–80.

мощности, то КПД электродвигателя будут поддерживаться примерно постоянным и равным номинальному значению. Работа ЭД с КПД, близким к номинальному, вплоть до достижения предельного давления бурового насоса, может быть обеспечена путем использования отдельного регулирования напряжения, частоты вращения и тока возбуждения. При этом регулирование частоты питающей сети обеспечивает требуемую частоту вращения и подачу насоса по мере углубления скважины, регулирование напряжения статора обеспечивает поддержание тока статора на номинальном уровне. Регулирование тока возбуждения может использоваться либо для поддержания заданного коэффициента мощности двигателя, например, равного единице, либо для сохранения заданной перегрузочной способности. В первом случае снижаются потери мощности в электродвигателе, во втором повышается устойчивость работы электропривода при резких изменениях давления на выходе насоса.

При нерегулируемом приводе КПД может быть найден по выражениям

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot P_{ном.} \cdot \frac{1 - \eta_{ном.}}{\eta_{ном.}};$$

$$\Delta P = P_0 + \beta^2 \Delta P_{ном.};$$

$$\eta = \frac{P_{пер.}}{P_{пер.} + \Delta P}.$$
(27)

Потери электроэнергии в электродвигателе при нерегулируемом $\Delta \mathcal{E}_{пер.}$ и регулируемом $\Delta \mathcal{E}_{рег.}$ электроприводе определяются по выражениям

$$\Delta \mathcal{E}_{рег.} = P_{ном.} \cdot \frac{1 - \eta_{ном.}}{\eta_{ном.}} \cdot T_{рег.}$$
(28)

$$\Delta \mathcal{E}_{пер.} = P_{пер.} \cdot \frac{1 - \eta}{\eta} \cdot T_{пер.}$$
(29)

Расход электроэнергии на потери давления в манифольде. Потери давления в манифольде определяются по выражению¹ $p = c \cdot N_{п}^2$, где $N_{п}$ — число ходов поршня в минуту, $c=0,0166$, константа. Тогда расход электроэнергии на потери давления при нерегулируемом приводе будет

$$\Delta \mathcal{E}_{пер.} = c \cdot N_{пер.}^2 \cdot Q_{пер.} \cdot T_{пер.}$$
(30)

Технологически необходимое количество промывочного раствора в литрах в секунду $Q_p = 0,07 \cdot \Pi_3$, где 0,07 — переводный коэффициент; Π_3 — площадь забоя скважины, см². Превышение производительности БН над вычисленной по данному соотношению величиной не приводит к существенному изменению механической скорости проходки.

$$N_{рег.} = \frac{Q_{рег.}}{Q_{пер.}} \cdot N_{пер.}$$
(31)

¹ Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин. — М.: Недра, — 1967. — 400 с.

а расход электроэнергии на потери давления при регулируемом приводе

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{пер.}} = c \cdot N_{\text{пер.}}^2 \cdot Q_{\text{пер.}} \cdot T_{\text{пер.}} \quad (32)$$

Для оценки срока окупаемости применим метод приведенных затрат. Приведенные затраты равны¹

$$Z = EK + C, \quad (33)$$

где E — норма дисконта, определяемая на уровне кредитных ставок с учетом рисков; K — капитальные вложения; C — текущие эксплуатационные затраты.

Капитальные затраты, кроме затрат на приобретение частотного преобразователя, должны включать другие затраты, например, затраты на его транспортировку, создание фундамента, монтажно-наладочные работы, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, связанные с созданием и внедрением проектируемого электропривода. Составляющие капитальных затрат, одинаковые в сравниваемых вариантах, во многих случаях можно не учитывать.

Текущие эксплуатационные затраты равны

$$C = C_a + C_{\text{ро}} + C_s, \quad (34)$$

где C_a — амортизационные отчисления; $C_{\text{ро}}$ — затраты на ремонт и обслуживание; C_s — затраты на электроэнергию.

Амортизационные отчисления равны

$$C_a = p_{\text{ачрэн}} \cdot K, \quad (35)$$

где $p_{\text{ачрэн}}$ — норма амортизационных отчислений.

Затраты на ремонт и обслуживание

$$C_{\text{ро}} = p_{\text{рочрэн}} \cdot K, \quad (36)$$

где $p_{\text{рочрэн}}$ — норма отчислений на ремонты и обслуживание оборудования.

Разность эксплуатационных затрат равна

$$\Delta C = -(p_{\text{ачрэн}} + p_{\text{рочрэн}}) \cdot K_{\text{чрэн}} + \Delta C_s, \quad (37)$$

где $\Delta C_s = C_s - C'_s$ — разность оплаты за электроэнергию при отсутствии и наличии частотно-регулируемого электропривода.

Срок окупаемости²

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{\frac{\Delta C}{K_{\text{чрэн}}} - (p_{\text{ачрэн}} + p_{\text{рочрэн}})}. \quad (38)$$

¹ Шабанов В. А., Никулин О. В. Оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода буровых насосов в Азнакаевском УБР//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 1. – С. 74–81.

² Алексеев В. В., Алексеев М. В., Шевырёв Ю. В., Фёдоров О. В. // Оценка технико-экономических показателей при выборе электропривода в геологоразведочной отрасли/Техн., технол. и орг. геол.- развед. ра-бот: Обзорная информация. -М.: ООО «Геоинформцентр», – 2002. – Вып. 3. – 94 с.

Методика исследования работы электродвигателей постоянного тока буровых механизмов при нарушениях в системе возбуждения. В основе анализа свойств двигателя постоянного тока при нарушениях в системе возбуждения лежит расчет магнитной цепи. При исчезновении тока в части катушек возбуждения изменяются пути протекания магнитного потока и изменяется уравнение равновесия намагничивающих сил. В нормальном режиме работы все четыре полюса машины создают магнитные потоки, одинаковые по величине и одинаково распределенные в зазоре. Поэтому расчет магнитной цепи достаточно вести для одной пары полюсов для средней линии магнитного потока. Магнитная цепь машины постоянного тока, показанная на рисунке 12, разбита на участки: воздушный зазор (δ), зубцы якоря (h_z), ярмо (сердечник) якоря ($2L_a$), полюсы (h_m), и ярмо статора (станины) ($2L_s$).

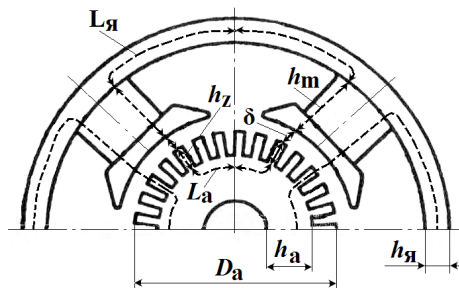


Рисунок 12. Магнитная цепь машины постоянного тока

В нормальном режиме работы магнитные потоки всех полюсов распределены одинаково. При этом уравнение по закону полного тока для магнитной цепи записывают либо для одного полюса¹, либо для одной пары полюсов². Уравнение магнитной цепи для одной пары полюсов без учета реакции якоря имеет вид:

$$F = \int \overline{H} dl = 2H_\delta \delta + 2H_z h_z + 2H_a L_a + 2H_m h_m + 2H_s L_s, \quad (39)$$

где

$$F = 2\omega j_s \quad (40)$$

— магнитодвижущая сила, созданная током возбуждения двух обмоток возбуждения; H — вектор напряженности магнитного поля; dl — элемент дуги, по которой ведется интегрирование; δ , h_z , L_a , h_m , L_s — показанные на рисунке 12 геометрические размеры; H_δ , H_z , H_a , H_m , H_s — напряженности магнитного

¹ Копылов И. П. Электрические машины. — М.: Высшая школа. Логос. — 2006. — 667 с; Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. В двух томах. — Том 2. — М.: Издательский дом МЭИ, — 2006. — 532 с.

² Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. — 3-е изд., перераб. — Л.: Энергия, — 1978. — 832 с; Пиотровский Л. М. Электрические машины. — М.-Л.: Госэнергоиздат, — 1960. — 531 с.

поля на соответствующих участках; ω_g — число витков обмотки возбуждения на полюс; i_g — ток возбуждения.

При записи уравнения (39) для одного полюса достаточно левую и правую части разделить на два¹. Магнитный поток Φ в ярмах статора и якоря в два раза меньше потока Φ_g в зазоре. Поэтому напряженность поля в станине и якоре в уравнении (39) соответствует половине магнитного потока в зазоре $\Phi = \Phi_g/2$.

В случае выхода из строя одной из четырех обмоток возбуждения, ток возбуждения будет протекать по обмоткам возбуждения только одной пары полюсов и симметрия магнитных потоков нарушается. Магнитные цепи машины постоянного тока изменятся и примут вид, показанный на рисунке 13. В отличие от рисунка 12 для анализа необходимо рассматривать два магнитных потока Φ и Φ_1 отличающихся длиной магнитной цепи. Длины концентрических участков L_a и L_{a1} для потока Φ_1 на рисунке 13 увеличиваются примерно в три раза. Так, если длина участка L_a на рисунке 12 потока Φ определяется по формуле²:

$$L_a = \frac{\pi(D_a - 2h_z - h_a)}{4p} + \frac{h_a}{2}, \quad (41)$$

где p — число полюсов,

то для участка L_{a1} на рисунке 13 длина магнитной цепи будет определяться выражением

$$L_{a1} = 3 \frac{\pi(D_a - 2h_z - h_a)}{4p} + \frac{h_a}{2}. \quad (42)$$

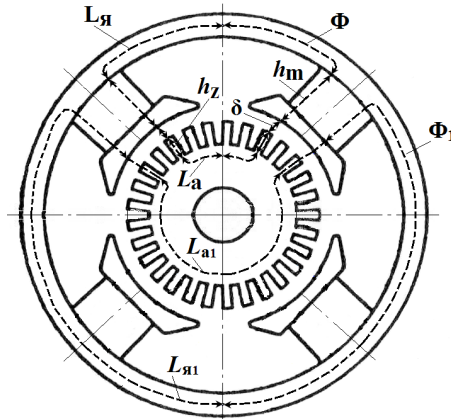


Рисунок 13. Магнитная цепь машины постоянного тока при токе возбуждения только в одной паре полюсов

¹ Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. Л.: Энергия, – 1978. – 832 с.

² Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, – 1978. – 832 с; Пиотровский Л. М. Электрические машины. – М.-Л.: Госэнергоиздат, – 1960. – 531 с.

Аналогично для участка L_s потока Φ его длина определяется по формуле¹:

$$L_s = \frac{\pi(D_a + (\delta + h_m) + h_s)}{4p} + \frac{h_a}{2}. \quad (43)$$

а для участка L_{s1} :

$$L_{s1} = 3 \frac{\pi(D_a + (\delta + h_m) + h_s)}{4p} + \frac{h_a}{2}. \quad (44)$$

Тогда уравнение по закону полного тока для контура с потоком Φ_1 при отказе одной из катушек можно записать в виде:

$$F_1 = \int \overline{H} dl = 2H_\delta \delta + 2H_z h_z + 2H_a L_{a1} + 2H_m h_m + 2H_s L_{s1} = 2\omega_s i_s, \quad (45)$$

Магнитная цепь на рисунке 13 содержит два неизвестных потока Φ и Φ_1 и для ее расчета необходимо решать систему из двух уравнений: уравнения (39), записанного для рисунка 13, и уравнения (45). Рассмотрим качественно, как изменится намагничивающая сила в воздушном зазоре при исчезновении тока возбуждения в одной паре обмоток. При неизменном токе возбуждения магнитодвижущая сила F по уравнению (40), созданная током возбуждения двух обмоток возбуждения, остается неизменной

$$F = 2\omega_s i_s = const. \quad (46)$$

Поэтому сумма намагничивающих сил по уравнениям (39) и (45) для всех участков магнитной цепи на рисунках 12 и 13 также остается неизменной. Однако, так как длины концентрических участков станины и якоря L_{a1} и L_{s1} на рисунке 13 больше длин концентрических участков L_a и L_s , то поток Φ будет больше половины потока в зазоре. В то время как на рисунке 12 поток Φ равен половине потока в зазоре. Из этого следует, что относительное значение магнитодвижущих сил (по отношению к магнитодвижущей силе F по уравнению (40)), для участков станины и якоря на рисунке 13 увеличится по сравнению с рисунком 12. При этом, вследствие равенства результирующих намагничивающих сил для потоков до и после выхода из строя одной из катушек возбуждения, на рисунке 13 должны снизиться намагничивающие силы в зазорах магнитной цепи. Это может произойти только вследствие снижения магнитного потока в зазоре.

Методика исследования качества электрической энергии

Целью исследования качества электрической энергии является анализ качества электроэнергии на буровых установках с неавтономным питанием в полевых условиях, а именно — изучение влияния регулируемого электропривода основных механизмов буровой установки на основные показатели качества электрической энергии в сети и соответствие их нормам, заданным соответствующими стандартами, с учётом экзогенных факторов.

¹ Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебных заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, – 1978. – 832 с.

Анализ априорной информации произведён для буровых установок с автономным и неавтономным питанием, в том числе применительно к функционирующим на шельфе азово-черноморского бассейна (Республика Крым, ГУП «Черноморнефтегаз»)¹ и на месторождениях Республики Татарстан (ООО «Татбурнефть»)². Влияние несинусоидальности формы кривых напряжения и тока в сети приводит к следующим основным негативным явлениям:

- увеличивается транспортируемая по электросети мощность;
- снижается коэффициент мощности сети;
- возрастает вероятность несанкционированного срабатывания автоматических выключателей в сети;
- возможно ложное срабатывание устройств релейной защиты;
- возникают вибрации и перегрузки различных механизмов;
- снижается реактивное сопротивление конденсаторов, что может привести к появлению резонанса и возникновению аварийных ситуаций в сети;
- возникают ошибки в показаниях контрольно-измерительных приборов;
- возникают нестабильности в энергосистемах;
- возникновение помех, нарушающих стабильность работы систем автоматики, аналоговой и цифровой радиоэлектронной аппаратуры.

В конечном итоге, в результате анализа были установлены следующие основные условия проведения полевого эксперимента:

- план проведения эксперимента;
- режимы эксплуатации буровой установки, в которых необходимо произвести измерения;
- контрольно-измерительное оборудование;
- контрольные точки измерений на схеме электроснабжения буровой установки;

¹ Жиленков А. А., Черный С. Г. Исследование автоколебательных процессов в комбинированных автономных электроэнергетических системах//Контроль. Диагностика. – 2016. – № 5. – С. 61–67; Ныркв А. П., Жиленков А. А., Черный С. Г. Модели мониторинга и управления процессами стабилизации обменных колебаний мощности в автономных электроэнергетических системах//Проблемы управления. 2016. № 4. С. 22–28; Жиленков А. А., Черный С. Г., Титов И. Л., Бордюг А. С. Уточненная математическая модель газодизеля для исследования многогенераторных систем//Датчики и системы. – 2016. – № 8–9 (206). – С. 33–41.

² Шабанов В. А., Никулин О. В. Исследование режимов частотного регулирования синхронного электропривода бурового насоса//Проблемы строительного комплекса России: материалы 14-й Международной научно-технической конференции при 14 – специализированной вы-ставке «Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение». – 2010. – С. 59–60; Никулин О. В., Шабанов В. А. Оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода буровых насосов в Азнакаевском УБР//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 1 (9). – С. 74–81; Шабанов В. А., Никулин О. В. Регулируемый электропривод буровых насосов и его влияние на электрическую сеть//Rogtec Российские нефтегазовые разработки. Выпуск 44. – 2016. – С. 70–81.

- входные и выходные данные эксперимента: параметры режимов, амплитуда, гармонический состав токов и напряжений и т. д.;
- методы обработки результатов эксперимента;
- математическая модель представления и статистического анализа полученных экспериментальных данных.

Данные условия использовались при организации проведения полевого эксперимента.

В качестве экспериментальных исследований качества электроэнергии в электроэнергетической системе с нелинейной нагрузкой были проведены работы по диагностике системы электроснабжения наземной БУ типа МБУ 3000/170 ИЭ.

Анализ работы системы электроснабжения проводился с помощью измерителя параметров качества электрической энергии «РЕСУРС-UF2М», соответствующий требованиям ГОСТ 8.655–2009 «Средства измерений показателей качества электрической энергии общие технические требования».

Для получения и обработки результатов измерений применялось программное обеспечение «UF2 Plus», «Monitor-UF2», «UF2 Plus Sprint», «Ресурс-UF2 Opera».

Измерения, обработка и анализ полученных данных выполнялись в соответствии с ГОСТ 51317.4.30–2008 «Методы измерений показателей качества электрической энергии».

С помощью данного комплекса были проведены замеры, позволившие произвести анализ среднеквадратичных и пиковых значений токов и напряжений, потребляемой активной и реактивной мощности, коэффициента мощности, коэффициентов искажений формы тока и напряжения, значений гармоник тока и напряжения, суммарный коэффициент гармонических искажений, параметры дисбаланса системы.

Измерения проводились во время основных режимов эксплуатации БУ:

- бурение;
- спуско-подъемные операции;
- вспомогательные технологические режимы.

Выбор указанных режимов позволил оценить целевые параметры во всём диапазоне мощностей, потребляемых буровой установкой по линии электроснабжения.

Необходимо так же отметить, что, по мере углубления скважины, вследствие увеличения гидравлического сопротивления труб возрастает и давление на выходе насоса¹, то есть увеличивается нагрузка бурового насоса. Одновременно с этим

¹ Никулин О. В., Шабанов В. А. Оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода буровых насосов в Азнакаевском УБР//Энергетика Татарстана. – 2008. – № 1 (9). – С. 74–81..

вследствие увеличения длины колонны бурильных труб (глубины скважины) увеличивается вес на крюке, что приводит к росту нагрузки на буровую лебедку, систему верхнего привода и ротор. Таким образом, наибольшие нагрузки в электрической сети возникают к концу строительства скважины. Поэтому измерения проводились в период близкий к окончанию бурения скважины и сдачи в эксплуатацию.

Однолинейная схема электроэнергетической системы буровой установки представлена на рисунке 14.

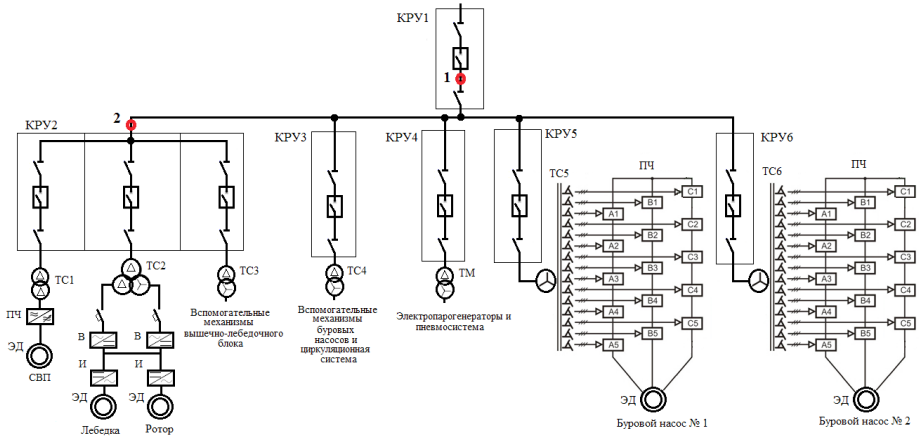


Рисунок 14. Однолинейная схема электроснабжения буровой установки МБУ 3000/170 ИЭ:

КРУ1 – КРУ6 – комплектные распределительные устройства; ТС1 – ТС6 – силовые сухие трансформаторы; ТМ – силовой масляный трансформатор; ПЧ – преобразователь частоты; ЭД – электродвигатель; В – выпрямитель; И – инвертер; СВП – система верхнего привода; А1 – А5, В1 – В5, С1 – С5 – силовые ячейки ПЧ с многоуровневой ШИМ

Основными электроприводами в электроэнергетической системе буровой установки являются двигатели переменного тока (электроприводы лебёдки, ротора, буровых насосов и системы верхнего привода), которые управляются через преобразователи частоты. Таким образом, они являются мощной нелинейной нагрузкой и оказывают основное влияние на качество электроэнергии в исследуемой электроэнергетической системе.

Основной анализ работы системы осуществлялся в двух точках:

- на КРУ1 (точка 1 на рисунке 14);
- на КРУ2 вышечно-лебедочного блока (точка 2 на рисунке 14).

Выводы. Особенностью математического описания исследуемых электроприводов является выделение нагрузок в начале и конце строительства скважин.

Главная отличительная черта, заключается в том, что они являются системами с переменной нагрузкой — в начале бурения нагрузка не велика, по мере углубления скважины, нагрузка растет; в аварийных режимах (ликвидация прихватов и т. п.) электроприводы могут работать с кратковременными перегрузками.

Выделение из большого числа режимов работы бурового оборудования небольшого количества типовых режимов, наиболее тяжелых с точки зрения влияния на электрическую сеть, позволяет существенно сократить число анализируемых вариантов при расчёте энергетических характеристик регулируемых электроприводов буровых установок.

Измерительные забойные телесистемы и наземные системы контроля параметров бурения позволяют прокладывать скважины со сложной траекторией, включающей повороты в разных плоскостях, фиксировать технологические параметры бурения для дальнейшего их сопоставления и анализа с электрическими параметрами регулируемых электроприводов главных механизмов буровых установок.

На основе технико-экономического подхода разработана методика определения эффективности частотно-регулируемого электропривода бурового насоса. Методика основывается на сопоставлении приведенных затрат и определении разницы эффективности дополнительных инвестиций в частотно-регулируемый электропривод и срока окупаемости.

Возможность работы четырех полюсного электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения при аварийном исчезновении тока в одной или более катушках возбуждения является актуальной научной и практической задачей. Электродвигатели буровых механизмов эксплуатируются в тяжелых условиях — наличие влаги, пыли и вибрации, что повышает вероятность отказов в работе как буровых механизмов, так и их электродвигателей. Из опыта эксплуатации известны случаи исчезновения тока в одной или нескольких катушках обмотки возбуждения двигателей постоянного тока, что нарушает нормальную работу электродвигателя и может приводить к останову процесса бурения.

Рост нелинейных потребителей электроэнергии как в буровых компаниях, так и в промышленности в целом обострил проблему качества электроэнергии в аспекте искажения синусоидальности напряжения сети и ухудшения коэффициента мощности потребителей.

Ухудшение коэффициента мощности приводит к потреблению из сети энергии, которая могла бы пойти на совершение полезной работы, к увеличению тока до значений, которые не нужны для выполнения данной работы, а, следовательно, и падение напряжения, способствуя высоким потерям энергии в системе, к дополнительным затратам электроэнергии.

Contents

	<i>Litvishko Valery, Litvishko Oleg, Myaskovskaya Tatiana</i>	
Chapter 1. Ecologization of plant protection products		3
	<i>Isaqov Valijon Yunusovich, Yusupova Mohidil Abdumutalipovna</i>	
Chapter 2. Ecological and land reclamation Ferghana valley and ways to improve them		15
	<i>Matveeva Ludmila Ivanovna, Yarzhemsky Anatoly Serafimovich, Khadzaragova Elena Alexandrovna, Bagaeva Madina Eduardovna</i>	
Chapter 3. Research of the optimization problem of impact machine's structures.		31
	<i>Valeeva Emiliya Ramzievna, Ziyatdinova Alfia Ishakovna, Serazetdinova Farid Irekovna</i>	
Chapter 4. Analysis of supply and the role of students in formation behavioral eating habits.		43
	<i>Mikhaylin Evgeny Sergeevich</i>	
Chapter 5. Features of histological structure of placentas in minor women		54
	<i>Stepanova Natalya Vladimirovna, Fomina Suryana Faritovna, Yusupova Naila Zufarovna, Khairullina Lily Rifkatovna</i>	
Chapter 6. Risk assessment and age sensitivity to chemicals from drinking water		65
	<i>Zaporozhets Artur, Redko Oleksandr, Zamurnjak Oleksandr</i>	
Chapter 7. Monitoring the fuel combustion process based on actual measuring of oxygen concentration in the air		77
	<i>Nikulin Oleg Viktorovich</i>	
Chapter 8. Research methods and design of electrical systems of drilling rigs.		93

