

# Материалы

Международной научно-технической конференции  
«Инновационные машиностроительные технологии,  
оборудование и материалы – 2016»  
(МНТК «ИМТОМ – 2016»)

Часть 1

7–9 декабря 2016 года

г. Казань

Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан  
Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский  
институт авиационных технологий»  
ГАУ «Центр энергосберегающих технологий Республики Татарстан при Кабинете  
Министров Республики Татарстан»  
Казанский (Приволжский) Федеральный университет  
Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева - КАИ (КНИТУ-КАИ)  
ООО «ЦПР «Техносвар»  
Университет Иннополис  
ООО «АТЛАС», ООО «ФБЮЖЕН»  
Академия наук Республики Татарстан

## **Материалы**

Международной научно-технической конференции  
**«ИННОВАЦИОННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ  
И МАТЕРИАЛЫ – 2016»**  
(МНТК «ИМТОМ–2016»)

Часть 1

7-9 декабря 2016 г.

Казань  
2016

УДК 67  
ББК К34  
М34

*Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.*

**М34** Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» (МНТК «ИМТОМ–2016»). Ч. 1. – Казань, 2016. – 374 с., ил.

Материалы состоят из 5 разделов в соответствии с секциями Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» (МНТК «ИМТОМ-2016»): «Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении», «Инновационные разработки и экономика в машиностроении», «Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов», «Инновационные сварочные технологии в промышленности», «Инновационные разработки малых и средних предприятий».

Будет полезно научным работникам и инженерам соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-905576-95-9 (*m. 1*)

ISBN 978-5-905576-85-0

© АО «КНИАТ», 2016

© ООО «Фолиант», оформление, 2016

Все права защищены. Материалы Сборника трудов не могут быть воспроизведены в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации без письменного разрешения АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий»

## ***СЕКЦИЯ № 1***

### **«Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении»**

#### **Модераторы:**

**Гуреев Виктор Михайлович** – проректор по развитию, д.т.н., проф.,  
зав. кафедрой теплотехники и энергетического машиностроения  
(КНИТУ-КАИ)

**Галимов Энгель Рафикович** – зав. кафедрой материаловедения,  
сварки и производственной безопасности, д.т.н., проф. (КНИТУ-  
КАИ)

**Беляев Алексей Витальевич** - доцент кафедры материаловедения,  
сварки и производственной безопасности, к.т.н. (КНИТУ-КАИ)



## СЕПАРИРОВАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕД

Агалаков Юрий Владимирович, Тонконог Владимир Григорьевич,  
Тукмаков Алексей Львович, Ахунов Адель Айратович,  
Чибирев Павел Алексеевич

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), г. Казань, Россия*

Рассмотрена проблема сепарации мелкодисперсных газожидкостных сред. Рассмотрено численное моделирование процессов сепарации двухфазной газожидкостной среды. Предложен метод повышения качества сепарации мелкодисперсных газожидкостных сред. Предложено новое техническое устройство для сепарации и описан принцип его работы.

The problem of separation of fine-dispersion gas-liquid mediums is considered. Numerical modeling of the two-phase gas-liquid medium separation processes is achieved. The method of quality improvement of fine-dispersion gas-liquid mediums separation is offered. The new technical device for separation is offered and the principle of its work is described.

Сепарация. Мелкодисперсная газожидкостная среда. Сепаратор. Природный газ.

Проблема сепарирования мелкодисперсных газожидкостных сред. Природный газ, получаемый с промыслов, содержит различного рода твердые, жидкие и газообразные примеси. Наличие примесей обусловлено условиями добычи газа, состоянием трубопроводов, реализацией способов промежуточного хранения.

Жидкие частицы, оседая в заниженных участках газопровода, также вызывают сужение проходного сечения. Они, кроме того, вызывают коррозию элементов трубопровода, арматуры и приборов. Содержащаяся в газе влага может привести к гидратообразованию в газопроводе. Осаждение гидратов на внутренней стенке трубопровода приводит к уменьшению проходного сечения и образованию, так называемых, гидратных пробок, что создает определенные трудности при эксплуатации технологического оборудования газоперекачивающих установок (ГПУ), газораспределительных станций (ГРС), блоков подготовки газа (БПГ). Как следствие, снижается ресурс оборудования и растет вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Для повышения надежности работы оборудования и улучшения качества природного газа, подаваемого потребителю, необходимо предусматривать очистку газа от твердых и жидких примесей.

Для очистки газа от жидких примесей в основном применяются центробежные сепараторы. Для данных устройств важным фактором, определяющим качество сепарации от примесей, является размер частицы.

В работе «Технология газификации сжиженного природного газа» [1] представлены результаты численного моделирования процессов сепарации двухфазной газожидкостной среды, на основе которых можно сделать вывод, что при значениях диаметра частиц  $d \leq 10$  мкм качество сепарации не превышает  $k \leq 0,9$ . Для многих технических процессов такое значение  $k$  не является удовлетворительным. На рис. 1 представлена зависимость качества сепарации  $k$  от диаметра частиц  $d$ .

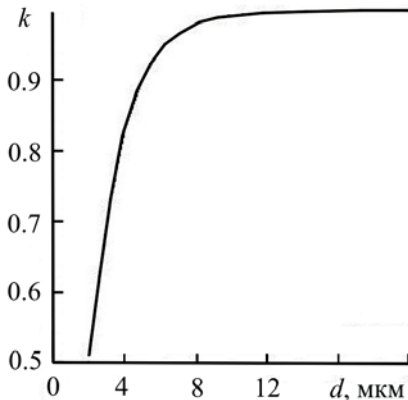


Рис. 1. Зависимость качества сепарации  $k$  от диаметра частиц  $d$ .

Для повышения эффективности сепарации жидкости от газа полидисперсного, содержащего как крупные, так и мелкие капли газожидкостного потока, предлагается сепаратор газожидкостного потока (патент №156757 [2]).

В предлагаемом устройстве технический результат достигается тем, что в сепараторе, включающем корпус 1, входной патрубок двухфазного газожидкостного потока 2, патрубок выхода очищенного газа 3, канал выхода выделенной из газа жидкости 4, регулируемое сепарационное устройство 5, новым является то, что в корпусе сепаратора вдоль его осевой составляющей расположен коллектор 6 с форсунками 7, сообщенный с каналом выхода выделяемой из газа жидкости 4, посредством канала отбора жидкости 8, в котором имеется теплообменник 9, вентиль – дозатор 10 и фильтр 11. Оси форсунок 7 в коллекторе 6 расположены перпендикулярно оси сепаратора или под углом к ней, при этом отверстия ориентированы по направлению к периферии сепаратора. Сепарационное устройство 5 выполнено щелевым и регулируемым, расположено в нижней части корпуса 1 сепаратора и снабжено датчиком сплошности 12, установленным в канале выхода выделяемой из газа жидкости 4, усилителем 13, механизмом регулирования 14 сепарационного устройства 5.

На рис. 1 представлена схема сепаратора. На рис. 2 – поперечное сечение коллектора.

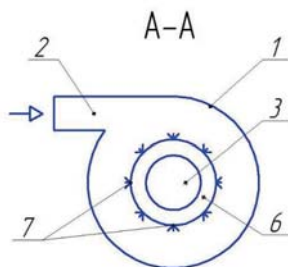
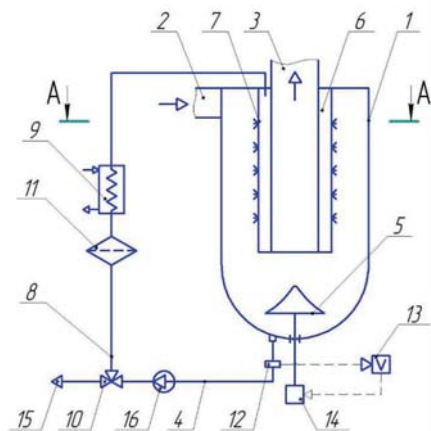


Рис. 1. (слева) Схема сепаратора принципиальная.

Рис. 2. (сверху) Поперечное сечение коллектора 6.

Устройство работает следующим образом. Двухфазный газожидкостный поток подается в корпус 1 сепаратора через входной патрубок 2 и закручивается. Под действием массовых сил происходит сепарация фаз и более тяжелая жидкая фаза перемещается в периферийную область потока. Качество разделения фаз зависит от скорости потока и размера дисперсной фазы. Дисперсная фаза (капли, частицы) с размером менее 10 мкм, как было указано выше, сепарируются неудовлетворительно. Вследствие чего через два и более витков в пристенной области сепаратора образуется слой отсепарированной жидкой фазы, а в тракте сепаратора будет двигаться двухфазный поток, содержащий преимущественно частицы размером менее 10 мкм. Для повышения качества сепарации часть выделенной жидкости отбирается из канала выхода выделяемой жидкости 4 в канал отбора выделяемой из газа жидкости 8 и через трехходовой регулируемый вентиль-дозатор 10 и фильтр 11 поступает в теплообменник 9 для охлаждения или нагрева. Далее жидкость подается в коллектор 6, из которого через форсунки 7 вводится в закрученный двухфазный поток перпендикулярно осевой составляющей корпуса 1 сепаратора или под углом, при этом угол может быть переменным в зависимости от удаленности форсунок от среза выходного канала 4. Форсунки 7 настраиваются таким образом, чтобы создавать струи жидкости либо крупные капли с размером более 10 мкм. Струи жидкости или крупные капли, пересекая двухфазный поток способствуют процессам коагуляции и укрупнения капель в дисперсном потоке и улучшают качество сепарации, поскольку способствуют улавливаю и укрупнению мелких капель. Для улучшения качества сепарации регулируемое сепарационное устройство 5 может перемещаться, увеличивая область выделения жидкой фазы в нижней части корпуса 1 сепаратора. Размер области отбора определяется датчиком сплошности 12. Как только в

отсепарированной жидкости появится паровая фаза, сигнал от датчика сплошности 12 через усилитель поступает на исполнительный механизм регулирования 14, который уменьшает ширину области отбора. Выход оставшейся после отбора выделенной жидкости из канала 4 в канал 8 осуществляется через канал 15.

Таким образом, введение крупных капель или струй, пересекающих закрученный двухфазный газожидкостный поток, способствуют процессу коагуляции и укрупнению капель в этом потоке, что улучшает качество сепарации полидисперсного газожидкостного потока, содержащего как крупные, так и мелкие капли.

### Литература

1. Технология газификации сжиженного природного газа/ В. Г. Тонконог, И. М. Баянов, М.И. Тонконог, Б. Р. Мубаракшин// Инженерно-физический журнал. – 2016. Том 89, №4 (июль – август).

2. Тонконог В. Г., Тукманов А. Л., Тукманов Д. А., Мубаракшин Б. Р., Агалаков Ю. В. Сепаратор газожидкостного потока. Патент РФ на полезную модель №156757. Опубликовано 20.11.2015 Бюл. № 32.

УДК 621.73.01:669.14.018

### КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Асташенко Владимир Иванович, Западнова Надежда Николаевна,  
Мухаметзянова Гульнара Фагимовна, Шафигуллин Ленар Нургалеевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423812, г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А

**Аннотация.** Показано негативное влияние различных концентраторов напряжений на циклическую стойкость деталей. Предложены инновационные решения по нейтрализации ликвационных проявлений в стали, по снижению вредного влияния трещиноподобных дефектов и по конструктивным особенностям, предъявляемым к галтелям на деталях.

**Ключевые слова.** сталь, детали машин, концентраторы напряжений, стойкость, ликвация.

**Abstract:** The negative impact of various stress concentrators on the cyclic resistance components was shown. The innovative solutions was offered to neutralize segregated manifestations in steel, to reduce the harmful effects of crack-like defects and design features, requirements for the fillet on the details.

**Keywords:** steel, machine details, stress concentrators, resistance, segregation.

Работоспособность и долговечность деталей машин в эксплуатации зависит от многих факторов. Выявление основополагающих причин низкой стойкости изделий, разработка и реализация инновационных технических и технологических решений, направленных на создание высококачественных и конкурентноспособных деталей машин – важнейшая задача специалистов различного профиля – машиностроителя, металлурга, эксплуатационника и т.д.

**Цель работы** – разработать и обосновать конструктивные, металлургические, технологические и технические решения по повышению надежности и долговечности деталей машин в эксплуатации.

В работе представлены наиболее характерные и эффективные решения по повышению усталостной прочности стальных изделий различного функционального назначения – шаровых опор ведущих мостов автомобиля, коленчатых валов, крестовин и зубчатых колес.

Важная роль в обеспечении надежности и долговечности изделий отводится конструктивным решениям, принимаемым на этапе проектирования и опыта стендово-дорожных испытаний. Наглядным примером служат экспериментальные исследования по влиянию радиуса галтели ( $R_r$ ) при переходе от ступицы  $\varnothing 105$  мм к фланцу (рис.1) шаровой опоры автомобиля на ее долговечность[1]. Стендовые испытания показали, что при радиусе галтели 0,5 мм среднее значение долговечности (испытано 28 деталей) составляла  $0,076 \cdot 10^6$  циклов, при радиусе 2,5 мм –  $0,142 \cdot 10^6$  циклов, при радиусе 4,0 мм –  $0,268 \cdot 10^6$  циклов, при радиусе 8,0 мм –  $0,524 \cdot 10^6$  циклов. Базируясь на этих результатах была выявлена зависимость долговечности ( $N$ ) детали от радиуса галтели ( $R_r$ ) в ее опасном сечении:

$$\lg N = 5 + 0,1R_r.$$

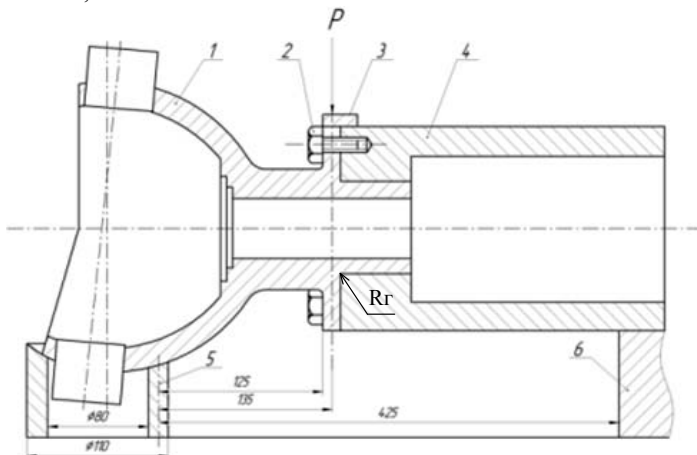


Рисунок 1 – Схема нагружения шаровой опоры: 1 – шаровая опора; 2 – крепежные болты; 3 – накладка; 4 – труба; 5 – кольцевая опора; 6 – прямоугольная опора.

Для планового пробега автомобиля (350 тыс. км) и исключения разрушения шаровой опоры радиусгалтели должен быть 4,3мм. Дополнительное повышение на 21- 34% усталостной прочности деталей можно достичь за счет их упрочнения остаточными термическими напряжениями, создаваемыми при ускоренном охлаждении после отпуска с температуры 630-650<sup>0</sup>C[2]. В результате охлаждения в воде на поверхности детали создаются остаточные напряжения сжатия из-за существенного перепада температур (~500<sup>0</sup>C) между поверхностью и сердцевиной изделия. На этапе проектирования изделий аналогичный подход должен быть использован и к другим зонам детали, являющихся концентраторами напряжений – шпоночным пазам, канавкам, буртикам, резьбе, отверстиям и т.д.

При неизбежном наличии концентраторов напряжений на деталях их отрицательное действие можно снизить путем дробеобработки поверхности. Правильный выбор размера и свойств дробы в сочетании с ее воздействием на поверхность можно создать высокий уровень сжимающих напряжений в проблемных местах и тем самым существенно повысить стойкость деталей при работе в условиях знакопеременных нагрузок[3].

Среди многообразия металлургических факторов, негативно влияющих на надежность и долговечность стальных изделий, несомненное лидерство занимают ликвационные проявления и степень загрязненности сплава эндо- и экзоклужениями. Наибольшую опасность представляет химическая и структурная неоднородность стали в виде ликвационного квадрата и особенно в случае выхода ливкатов в наиболее нагруженные участки изделия. На рисунке 2 представлена разрушенная шестерня, а причиной этому послужил ликвационный квадрат, смещенный к основанию зуба детали на этапе горячей пластической деформации металлозаготовки [4].

Для нейтрализации нежелательных макро- и микростроений в стальных изделиях при технологическом металлопеределе в машиностроительном производстве разработан способ исследования течения металла при горячей объемной штамповке[5]. Способ позволяет определять перемещение различных зон металла в полости штампа и, при необходимости, управлять течениями даже в изделиях сложной формы путем точного конструирования рабочей гравюры в штампе.



Рисунок 2 – Макроструктура сечения деталей с расположением ликвационного квадрата у основания зуба (а) и в центральной части (б) шестерни.

Концентраторы напряжений трещиноподобного вида, наследуемые от стадий технологического металлопередела, заметно снижают сопротивляемость стали динамическим и статическим нагрузкам. К таким дефектам относятся зажимы, закаты, подрезы, риски и т.д. Усилия машиностроителей должно направляться на полное удаление таких концентраторов напряжений с поверхности детали или их нейтрализации путем дробеструйной обработки. Максимальный эффект от дробеобработки достигается при реализации комбинированной технологии наклепа – сначала обработку ведут крупной дробью, затем снимают напряжения, а завершают обработку мелкой дробью [3,6]. Выбор размера дробы на каждой стадии осуществляется в зависимости от вида и размера дефекта.

### **Выводы.**

1. Предложены конструктивные решения по рациональному выбору радиуса галтели на сопрягаемых участках детали для обеспечения высокой эксплуатационной надежности изделий

2. Для нейтрализации в деталях неизбежных концентраторов напряжений металлургического характера предложен способ определения течения металла при горячей объемной штамповке, что в последующем позволит исключить выход на поверхность изделия ликвационных проявлений и других дефектов присутствующих в стали.

3. Для повышения эксплуатационной надежности изделий с наследуемыми концентраторами напряжений различного происхождения рекомендуется применять в производстве дробеструйную обработку деталей.

### **Литература.**

1. Фасхиев Х.А. Повышение долговечности шаровой опоры переднего моста грузового автомобиля /Х.А. Фасхиев//Грузовик,2009, №5. – с.11 - 13.

2. Астащенко В.И. Технологические решения при переделе металлопроката для повышения свойств стальных изделий /В.И.Астащенко, Т.В.Швеева, И.М.Родькин//Технология металлов. – 2012. – №8.– С.9 – 13.

3. Саверин М.М. Дробеструйный наклеп. /М.М. Саверин. М.: Машгиз,1955. -312с.

4. Астащенко В. И. Контроль качества и наследственность строения стали при технологическом металлопеределе/В.И. Астащенко, А.И. Швеев, Т.В. Швеева – М.: Academia, 2011. – 239 с.

5. Патент № 2506138, МПК В21 j5/02 G01N3/28 Способ исследования течения металла при горячей объемной штамповке изделий / В. И.Астащенко, В.И.Ищенко, А.И Швеев., Т.В Швеева., В.С.Мартюгин, В.В.Махонин. Заяв. № 2012113089; опубл. 10.10.2013.Бюл. №28.

6. Глинер Р.Е. Введение в технологию поверхностного упрочнения металла/ Р.Е.Глинер, В.И. Астащенко.- Казань, Изд-во Казан. ун-та, 2015.-342с.

УДК 620.178.15:669.13

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ НА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ

Асташенко Владимир Иванович, Швеёв Андрей Иванович,  
Мухаметзянова Гульнара Фагимовна, Швеёв Иван Андреевич,  
Мухаметзянов Ильнар Ринатович

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А

**Аннотация.** Установлена наследственность свойств в наплавленном слое чугуна от исходных полуфабрикатов. Показана возможность управления формой графита и твердостью чугуна в процессе его индукционной наплавки на сталь. Предложена экспресс-методика диагностики свойств наплавленного чугуна по величине твердости используемых полуфабрикатов.

**Ключевые слова:** биметалл, индукционная наплавка, чугун, сталь, наследственность.

**Abstract:** The hereditary properties was established of the cladded layer of cast iron from source semi-finished products. The possibility of controlling the shape of graphite and cast iron hardness in the process of its induction cladding on steel. Proposed a rapid technique to diagnosing the properties of the cladded cast iron largest hardness used semi-finished products.

**Keywords:** bimetal, induction cladding, cast iron, steel, heredity.

Известные методы оценки состояния металла полуфабрикатов, деталей машин и конструкций основаны на результатах металлографических исследований, механических испытаний, ультразвукового контроля, рентгеноструктурного анализа и т.д. [1, 2]. Используемая методология исследования в большинстве случаев требует обязательного отбора проб от контролируемого изделия, применения дорогостоящего оборудования и привлечение высококвалифицированных специалистов и является весьма трудоемкой технологией. Поэтому задача по разработке легко осуществимого и достаточно информируемого метода о свойствах материала полуфабрикатов является весьма актуальной научно-технической задачей.

**Цель работы** – установить наследственную связь между свойствами чугуна в полуфабрикатах и в наплавленном слое биметаллической детали и разработать экспресс-метод диагностики структурного состояния наплавленного слоя.

**Материалы и методы исследования.** Химический состав чугуна определяли по ГОСТ 18895-97 на спектрографе АФС-51 со специализированным программным обеспечением SBP и Next, а также на эмиссионном спектрометре «Spectrolab» и анализаторах АН-7529 и АН-7560 на углерод и серу соответственно.



Для металлографических исследований использовали оптические микроскопы «Неофот-21», «Эпитип-2» и «IM-7200» с системой изображения «Видео Тест-М» и программным продуктом «Trixomet-PRO». Структуру чугуна оценивали по графиту и металлической основе.

Для наплавки использовали полуфабрикаты (заготовки)  $\varnothing 10 \times 48$  мм, весом  $28,00 \pm 0,50$  гр., получаемые литьем выплавляемым моделям из легированного чугуна состава (масс.%): углерод  $3,1 \div 3,4\%$ ; кремний –  $2,20 \div 2,35\%$ ; марганец –  $0,50 \div 0,65\%$ ; хром –  $0,8 \div 1,0\%$ ; никель –  $0,40 \div 0,75\%$ ; молибден –  $0,4 \div 0,6\%$ ; серы – не более  $0,1\%$ ; фосфор – не более  $0,2\%$ ; железа – остальное.

Нагрев до температуры плавления чугуновых заготовок и наплавку проводили на индукционной установке УНТ-1 в производственных условиях ПАО «КАМАЗ». Контроль температуры расплава чугуна перед наплавкой осуществляли переносным пирометром «Irtec Rayomatig» модель 160 фирмы «Eurotron Instruments S.p.A.» (Италия).

**Результаты работы.** Наиболее приемлемым методом оценки свойств металлоизделий с точки зрения простоты и удобства реализации, невысокой стоимости и доступности приборного обеспечения, а также сохранения полуфабриката для дальнейшего использования является метод твердости [1, 2]. Этот метод был апробирован в производственных условиях на заготовках из легированного чугуна, используемых для наплавки на сталь, при получении биметаллической детали – толкатель клапана (рис.1). Высокая работоспособность и надежность наплавленного слоя на детали обеспечиваются при достижении нижеуказанных показателей свойств: толщина слоя –  $2,7 \pm 0,1$  мм; твердость - не ниже 61HRC; микроструктура: ледобурит + участки мартенсита с остаточным аустенитом + точечный равномерно – распределенный графит (допускается не более двух розеток графита в поле зрения микроскопа при увеличении 100\*); поры, трещины, раковины, пузыри и другие дефекты не допускаются.

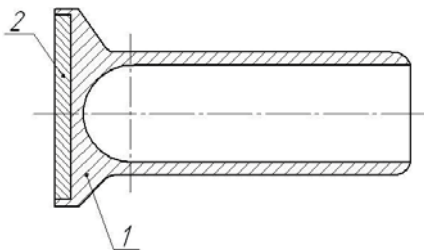


Рис. 1 – Общий вид биметаллической детали – толкатель клапана ДВС автомобиля «КАМАЗ»: 1 – стальная основа детали (сталь 35 «селект»); 2 – наплавленный слой (износостойкий белый чугун).

В работе установлено, что для достижения упомянутых свойств необходимо учитывать не только технологические параметры процесса наплавки, но и состояние и свойства используемых для этой цели заготовок чугуна [3, 4].

Сравнительные исследования заготовок 143 плавок чугуна показали, что несмотря на полное их соответствие по содержанию химических элементов требуемому составу наблюдается существенная дисперсия по твердости и структуре (табл.1). Установлено, что при идентичных температурно-временных условиях наплавки чугуна на разогретую до 1100°С стальную основу детали свойства наплавленного слоя не стабильны и зависят от исходного состояния используемых заготовок. Так, при наличии в заготовках графитовых включений, они частично или полностью наследуются наплавленным слоем, если температура расплава чугуна перед наплавкой не превышает 1230°С. Формообразование графита и степень графитизации сплава в заготовках зависит от многих факторов, в том числе и от процесса кристаллизации металлического расплава и последующего охлаждения отливки в литейной форме, а именно от скорости кристаллизации и длительности нахождения сплава в диапазоне температур 1150-760°С[5]. Кроме того, в зависимости от скорости охлаждения заготовки после затвердевания сплава можно управлять структурообразованием металлической основы чугуна, и, соответственно, величиной твердости полуфабриката. В таблице 1 приведены сведения по твердости и структурному состоянию чугуна литых заготовок (полуфабрикатов) Ø10x48мм, используемых для индукционной наплавки на стальную основу с целью получения биметаллической детали – толкатель клапана ДВС автомобиля КАМАЗ.

Таблица 1 – Свойства чугуна заготовок и наплавленного металла

Диапазон по твердости заготовки, HRC	Микроструктура заготовки	Температура расплава перед наплавкой, °С	Микроструктура наплавленного слоя	Твердость наплавленного слоя, HRC
18-34	П (85-90) ТМ(5-15) Ц( 5) + Гр.пл	1200 1230 1260*	Л+М+Гр.пл Л+М+Гр.пл+Гр.точ. Л+М+Гр.пл+Гр.точ	60-62
35-46	П (20-30) ТМ(40-45) Ц( 25-30) + Гр.вер. +Гр.точ	1200 1230 1260*	Л+М+Гр.вер. +Гр.точ. Л+М+Гр.точ. Л+М+Гр.точ	61-64
47-54	ТМ(60-65) +Ц( 35-40) +Гр.точ	1200 1230	Л+М+Гр.точ. Л+М+Гр.точ	63-65

Обозначение: П – перлит, ТМ – троостомартенсит, Ц – цементит, М – мартенсит, Л – ледебурит, Гр.пл – графит пластинчатый, Гр.вер – графит вермикулярный, Гр.точ – графит точечный. В скобках указано содержание структурной составляющей в процентах; \* – выход из строя индуктора.

Видно, что в зависимости от структурного состояния чугунных заготовок изменяется и их твердость. Интервалу с низкими значениями твердости (18-34HRC) характерно наличие в структуре чугуна продуктов диффузионного распада и пластинчатого графита. При твердости полуфабрикатов от 47 до 54 HRC присутствие в структуре перлитной составляющей не наблюдается, а

графит имеет точечную форму и равномерно распределен в сплаве. Кроме того, выявлено что существует связь между исходным состоянием полуфабриката, температурой его расплавления и свойствами чугуна в наплавленном слое. Графит в виде пластин передается от полуфабриката к наплавленному слою полностью или частично, если температура расплава при наплавке не превышает 1230°С. Повышение температуры расплава чугуна до 1260°С снижает вероятность наследования нежелательных формообразований графита. Благоприятные точечные и равномерно распределенные графитовые включения в наплавленном слое имеют место во всех случаях, если использовались полуфабрикаты с аналогичной формой графита и структурой основы «троостит+мартенсит +цементит», что соответствует твердости 47 - 54HRC. Присутствие небольшого количества перлита в структуре полуфабриката и наличие вермикулярного графита допустимо, если температура расплава при наплавке будет поддерживаться на уровне 1230°С и выше, что обеспечит формирование требуемых свойств и структуры наплавленного слоя (табл.1). При таком состоянии чугунных полуфабрикатов для наплавки они имеют твердость на уровне 35-46HRC. Таким образом, структурное состояние и свойства наплавленного чугуна на стальную основу детали можно прогнозировать по данным физико-механических и структурных параметров полуфабрикатов, используемых для наплавки, а именно по характеристикам их твердости. При твердости полуфабрикатов от 35HRC и выше обеспечивается получение в наплавленном чугуне биметаллической детали твердости более 63HRC, а также заданной в слое микроструктуры металлической основы и формы и распределения графитовых включений.

#### **Выводы.**

1. Установлена наследственная связь между исходным состоянием чугуна полуфабриката, используемого для индукционной наплавки, и структурным состоянием наплавленного слоя на стальную основу детали.
2. За счет изменения температуры расплава чугуна перед наплавкой можно управлять формой графита в наплавленном слое.
3. Разработан экспресс-метод диагностики структурного состояния наплавленного слоя чугуна на биметаллической детали по параметрам рассеяния характеристик твердости используемых полуфабрикатов (заготовок) и температуры расплава чугуна, подготовленного к индукционной наплавке на сталь.

#### **Литература.**

1. Контроль качества термической обработки полуфабрикатов и деталей: Справочник / Под общ. ред. В.Д. Кальнера. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
2. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981.–648 с.

3. Бикулов Р.А. Производство чугунов многоцелевого назначения: разработка составов и управление технологическими процессами/Р.А. Бикулов, М.С. Колесников, В.И. Асташенко, Ф.Г. Карих – М.: Academia, 2009.–351 с.

4. Никитин В.И. Наследственность в литейных сплавах / В.И.Никитин, К.В. Никитин -М.: Машиностроение, 2005. –476с.

5. Mukhametzyanova G.F., Kolesnikov M.S. Thermodynamic and diffusive regularities of the mechanism of formation of graphite in high-strength cast iron // European Science and Technology: materials of the VII international research and practice conference, Vol. II, Munich, April 23th – 24th, 2014 / publishing office Vela VerlagWaldkraiburg – Munich – Germany, 2014. P. 525-529.

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОД - МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ ЭТАНОЛА

Ахмадиев Габдулахат Маликович, профессор кафедры химии и экологии

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, GMAhmadiev@kpfu.ru,  
ahmadievgt@mail.ru*

**Аннотация.** В настоящее время технология получения углерод-металлического материала в виде смеси углеродных волокон и капсулированного в неструктурированном углероде частиц никеля диаметром от 10 до 150 нанометров каталитическим пиролизом этанола актуальной научно-производственной проблемой. Для этого катализатор в виде оксидов никеля и магния наносят на поверхность инертной подложки и помещают в замкнутый герметичный объем и далее поддерживают постоянную температуру. Для получения углерод-металлического материала через входной коллектор подают пары этанола, а через выходной коллектор удаляют газообразные продукты пиролиза, а пары этанола разбавляют инертным газом в массовом соотношении этанол: инертный газ 1:4... 5. В качестве инертного газа для разбавления паров этанола используют аргон. При этом катализатор используют в виде сплава оксидов никеля (Ni) и магния в массовом соотношении NiO:MgO 4:1. Температуру поддерживают на относительно постоянном уровне при синтезе в пределах от 600 до 750°C. Технологический синтез проводят при атмосферном давлении. Однако, катализатор, наносимый на поверхность инертной подложки в виде графитовой фольги, используют в пылевидном или гранулированном состоянии[1].

**Ключевые слова:** Технология, анализ, получение, углерод-металлический материал, каталитический пиролиз, этанол.

## SCIENTIFIC BASES AND PRINCIPLES OF OBTAINING CARBON METAL MATERIAL BY CATALYTIC PYROLYSIS OF ETHANOL

Akhmadiev Gabdulahat Malikovich, Doctor of Veterinary Science, Professor of Chemistry and Ecology of Kazan (Volga) Federal University,  
GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

**Annotation.** A method of producing a carbon-metal material in the form of a mixture of carbon fibers and the encapsulated unstructured carbon particles of nickel in diameter from 10 to 150 nanometers catalytic pyrolysis of ethanol, comprising that the catalyst in the form of nickel oxide and magnesium applied to a surface of an inert substrate and placed in a closed sealed volume, maintained at a constant temperature is fed through the inlet manifold ethanol vapor and is removed through outlet manifold gaseous pyrolysis products, wherein the ethanol vapor diluted with an inert gas in a ratio ethanol: inert gas of 1: 4 ... 5. The inert gas dilution using ethanol vapor argon. The catalyst is used in the form of an alloy of nickel oxide (II) and Mg in a weight ratio of NiO: MgO 4: 1. The temperature is maintained constant during the synthesis of the form in the range of 600 to 750 ° C. Synthesis was carried out under atmospheric pressure. The catalyst applied to the surface of an inert substrate in the form of a graphite foil is used in a pulverized or granular state [1].

**Keywords:** technology, analysis, acquisition, carbon-metallic material, the catalytic pyrolysis of ethanol.

Целью настоящей работы является теоретический анализ получения углерод-металлического материала каталитическим пиролизом этанола. В настоящее время технология получения углерод-металлического материала каталитическим пиролизом этанола применяется в химической промышленности. Научно- производственный опыт показывает, что углерод-металлический материал в виде смеси углеродных волокон и капсулированных в неструктурированном углероде частиц никеля диаметром от 10 до 150 нанометров получают каталитическим пиролизом этанола при атмосферном давлении. Химически активный катализатор в виде оксидов никеля и магния, наносимый на поверхность графитовой фольги в качестве инертной подложки в пылевидном или гранулированном состоянии, помещают в замкнутый герметичный объем, где регулярно поддерживают постоянную температуру 600 - 750 °С. При этом через входной коллектор подают пары этанола, а из выходного коллектора удаляют газообразные продукты пиролиза. Пары этанола разбавляют инертным газом, например аргоном, в массовом соотношении этанол: инертный газ 1:4... 5. Время активного химического синтеза от 1 до 180 мин. Разработанная авторами технология относится к химической технологии осуществления гетерофазных реакций взаимодействия твердых веществ с газом или термического разложения. Углерод-металлический материал представляет смесь углеродных волокон и инкапсулированного в неструктурированном углероде частиц никеля

диаметром от 10 до 150 нанометров. Углеродные атомарные волокна характеризующихся в основном постоянным диаметром, отношение длины к диаметру как 10:1, с упорядоченной кристаллической структурой атомов углерода, имеющих наружный диаметр в диапазоне между 18 и 62 нанометрами. Соотношение углеродных атомарных волокон и инкапсулированных частиц никеля 3..4:1. Известен способ карбонизации углеродсодержащих материалов, включающий подачу жгутов обрабатываемого углеродсодержащего материала в реактор, содержащий теплоизолированный корпус с муфелем, перемещение жгутов через полость реактора при одновременной подаче горячего и холодного инертного газа и отвода продуктов пиролиза, с дополнительным температурным воздействием на газ при проведении пиролиза и отбор обработанных жгутов в промежуточный объем при их охлаждении, (патент Великобритании GB 2184819 МПК D01F 9/22, D01F 9/32, 1987 г.). Недостатком такого технического решения [2] является низкая производительность химического процесса карбонизации. Он связан с невозможностью поддержания постоянства температурной среды при перемещении в полости печи жгутов с обрабатываемым материалом. Технологический процесс также связан с ограничениями по температуре из-за опасности перегрева продукта, что влечет за собой ухудшение его свойств и невозможность получения инкапсулированных в неструктурированном атомарном углероде частиц никеля. Другим недостатком является необходимость обработки исходного материала перед карбонизацией и непригодность этого способа получать нужные продукты путем каталитического пиролиза. Наиболее перспективным технологическим направлением является способ, позволяющий обрабатывать исходные газообразные углеводородные продукты. В данном конкретном случае предварительная обработка исходного материала в большинстве случаев сводится к минимуму. В патенте США № 5165909, МПК D01F 9/10, 1992 г.[5] описан способ непрерывного получения углеродных атомарных волокон, который включает контактирующее формирование волокон на катализаторе, содержащем металлические частицы, с газом, содержащим атомарный углерод. Однако, по известному способу ([Патент РФ № 2296827, МПК D01F 9/127, D01F 9/133], 2005[4] имеется технологический недостаток, заключающийся в образовании только углеродных атомарных волокон и капсулированных в углеродных волокнах частиц никеля. При этом наблюдается технологические невозможности получения инкапсулированных в неструктурированном углероде частиц никеля. Известен также способ [6] получения нанотрубок из возобновляемого неорганического сырья (Заявка на изобретение № 2008113245 МПК C07C 1/00. 2009 г.), способ включает следующие стадии: а) синтез спирта (ов) брожением, б) дегидратация спирта, с) введение в псевдооживленный слой, во втором реакторе, порошкообразного катализатора при температуре 450-850°C, который содержит, по меньшей мере, один металл, причем катализатор нанесен на инертную твердую подложку с диаметром гранул катализатора менее 300 мкм; д) приведение алкена, полученного на стадии б) в контакт с порошкообразным катализатором стадии с), для формирования углеродных

нанотрубок и водорода на поверхности указанного катализатора каталитическим разложением указанного алкена и е) извлечение углеродных нанотрубок, полученных на стадии d). Однако, приведенном техническом способе, контакт паров этанола происходит с взвешенным слоем катализатора, что приводит к нестабильности условий роста нанотрубок по всему объему аппарата, а также невозможности получения инкапсулированных в неструктурированном углероде частиц катализатора. В данном случае уместно приводить известное техническое решение, принятый за прототип способ получения углеродных нанотрубок с инкапсулированными частицами никеля и кобальта (Патент РФ № 2310601, МПК C01B 31/02, 2007 г). Согласно этому известному техническому решению - способу[3] готовят раствор ацетилацетоната кобальта или никеля в бензоле или его в смеси с этиловым спиртом. Для этого стеклянный сосуд наполняют полученным раствором. И далее заполняют барботер бензолом. Представленную установку герметизируют и заполняют азотом из баллона. Кварцевый реактор, выполненный с возможностью нагрева в высокотемпературной печи, нагревают в токе азота, подаваемого из баллона. Затем в сосуд с реакционной смесью подают азот и под давлением распыляют раствор ацетилацетоната кобальта или никеля через капилляр в реакционной зоне реактора с получением соответствующего катализатора. После этого в реактор подают бензол из барботера, в результате чего происходит разложение бензола на катализаторе. Данный способ в качестве источника углерода использует бензол, который является более дорогостоящим сырьем по сравнению с этанолом, так же этанол получают их возобновляемых источников. В получаемом материале частицы никеля инкапсулированными в углеродных нанотрубках, а не в неструктурированном углероде и не имеют форму близкую к сферической. При этом применение летучего катализатора на основе раствора ацетилацетоната кобальта или никеля в бензоле или его смеси с этиловым спиртом значительно усложняет управление химическим технологическим процессом синтеза по сравнению с использованием пылевидного или гранулированного катализатора на носителе.

**Заключение.** Таким образом, предлагаемый способ получения углерод-металлического материала в виде смеси углеродных волокон и капсулированного в неструктурированном углероде частиц никеля диаметром от 10 до 150 нанометров каталитическим пиролизом этанола. Новое техническое решение, заключается в том, что катализатор в виде оксидов никеля и магния наносят на поверхность инертной подложки и помещают в замкнутый герметичный объем. При этом поддерживают постоянную температуру, через входной коллектор подают пары этанола, а через выходной коллектор удаляют газообразные продукты пиролиза. Отличительными признаками являются, что пары этанола разбавляют инертным газом в массовом соотношении этанол: инертный газ 1:4... 5. В качестве инертного газа для разбавления паров этанола используют аргон. Катализатор используют в виде сплава оксидов никеля (II) и магния в массовом соотношении

NiO:MgO 4:1. Температуру поддерживают в постоянной величине, что при синтезе в пределах от 600 до 750°C. Химический технологический синтез проводят при атмосферном давлении. Катализатор, наносимый на поверхность инертной подложки в виде графитовой фольги, используют в пылевидном или гранулированном состоянии в химических технологических процессах [1].

### Литература

1. Способ получения углерод-металлического материала каталитическим пиролизом этанола. Патент на изобретение №: 2516548,09. 27. 2013
2. Патент Великобритании GB 2184819 МПК D01F 9/22, D01F 9/32, 1987
3. Патент РФ № 2310601 МПК C01B 31/02, 2007
4. Патент РФ № 2296827, МПК DOIF 9/127, DOIF 9/133, 2005
5. Патент США № 5165909, МПК D01F 9/10, 1992
6. Заявка на изобретение № 2008113245 МПК C07C 1/00, 2009

## НОВЫЙ ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ РЕЗКИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Ахметов И.Д. аспирант  
Закирова А.Р. к.т.н., доцент  
Садыков З.Б. д.т.н., профессор  
Хафизов И.И., к.т.н., доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Аннотация: В статье обосновывается выбор комбинированной электроалмазной резки, как наиболее подходящего способа разделения твердых, труднообрабатываемых, дефицитных сплавов. При обработке данным методом, электрод-инструмент вступает в электрический контакт с боковыми поверхностями канала реза заготовки, что приводит к возникновению излишнего не контролируемого съема металла. Для решения данной проблемы, представлен новый электрод-инструмент.

Abstract: The article explains the choice of combination elektroalmaznoy cutting as the most suitable method for separating solid, trudnoobrabatyvemyh deficient alloys. When processing by this method, the electrode-tool comes into electrical contact with the side surfaces of the cut channel, giving rise to excessive metal removal is not controllable. To solve this problem, it introduced a new electrode-tool.

Ключевые слова: комбинированная электроалмазная обработка, электрод-инструмент.



Стремительное развитие машиностроения, приборостроения, авиационной, ракетно-космической промышленности, обусловило широкое применение труднообрабатываемых и природно-дефицитных материалов и их сплавов, таких как вольфрам, молибден, ниобий, и др. в качестве основных материалов в производстве несущих конструкций изделий, где необходимо обеспечить высокие требования по точности и качеству обработанных поверхностей при приемлемой производительности процессов. Применение данных материалов позволяет повысить прочностные и эксплуатационные характеристики выпускаемых изделий, что, в свою очередь, позволяет создавать более функциональные механизмы, обладающие малыми габаритами при более высоких функциональных возможностях.

Несмотря на преимущества использования сверхтвердых материалов в машиностроении, их обработка зачастую затруднена. В современной промышленности для разрезания природно-дефицитных, твердых металлов используют, как традиционные, например, механическая обработка, так и новые виды резки, такие как, ультразвуковая, лазерная, плазменная и другие.

Лазерная и плазменная резка материалов являются наиболее современными, перспективными методами и все больше находят практическое применение в производстве изделий из труднообрабатываемых материалов.

Эти методы обеспечивают высокую производительность производственного процесса и возможность резания по криволинейному контуру заготовки, но имеют и ряд недостатков, которые не позволяют их применение в случае жестких требований по качеству обработки. Так, например, эти методы оказывают тепловое воздействие на заготовку, нарушают ее структуру в зоне воздействия. Также существует вероятность возникновения измененного слоя в материале на значительной глубине, существует вероятность возникновения сетки трещин из-за напряженно-деформированного состояния при термическом перенапряжении. Для устранения выше перечисленных последствий лазерной и плазменной резки, необходимы дополнительные операции по удалению измененного слоя, что приводит к потере дефицитного материала, увеличивает трудоемкость и трудозатратность процесса.

Наиболее приемлемым с точки зрения экономии расхода дефицитного материала является применение комбинированного электроалмазного метода разрезания, так как разрезание осуществляется тонким диском с алмазным покрытием. Основными преимуществами комбинированной электроалмазной обработки перед другими видами обработки являются: возможность обработки токопроводящих материалов вне зависимости от их твердости, высокая точность обработки, высокое качество обработанных поверхностей.

При резке алмазным диском существует проблема – вследствие электрического контакта между электродом-инструментом и боковыми поверхностями каналами реза, возникает излишний не контролируемый съем материала заготовки с боковых стенок паза. Это приводит к дефектам в виде отсутствия плоскопараллельности плоскостей реза [1].

В настоящее время для разделения труднообрабатываемых материалов выпускаются алмазные дисковые инструменты, где боковые поверхности дисков дополнительно покрывают электроизоляционным материалом, кроме поверхностей с алмазными зёрнами. Алмазные зёрна закреплены электропроводящим никелевым покрытием. Однако, в процессе обработки никелевое покрытие вступает в электрический контакт с обрабатываемой заготовкой, что приводит к получению V-образного паза, вместо требуемого П-образного паза.

Для устранения проблемы излишнего не контролируемого съема металла с заготовки авторы патента №142793 «Устройство для комбинированного разрезания токопроводящих материалов» предлагают на боковые и торцевые поверхности дисков сборного электрода-инструмента дополнительно нанести электроизолирующий материал, толщина которого уменьшается от периферии к центру. Данное предложение дало определенный положительный результат, но полностью не решило проблему[2].

Причина в конструктивной особенности этих дисков, а именно, в том, что они изготовлены из цельного тонколистового материала, вследствие чего сохраняется возможность электрического контакта между электродом-инструментом и боковыми стенками канала резания. Диски с такой конструкцией не позволяют локализовать процесс электрического съема до точечного и осуществлять процесс на минимальных зазорах[1,2].

Нами предлагается принципиально новое решение проблемы не контролируемого съема металла с боковых поверхностей канала реза. В предлагаемом варианте отсутствует постоянный электрический контакт между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой, вследствие чего боковые поверхности канала реза получаются плоскопараллельными (получен патент №2597843 «Электрод-инструмент для комбинированной резки токопроводящих материалов»).

Суть предложения заключается в том, что электрод-инструмент изготовлен из композитов углеродного волокна 1 (рисунок 1), расположенных в радиальном направлении от центра круга. Углеродные волокна выходят за края круга и обеспечивают токопровод. С двух сторон углеродный слой покрыт кремнийорганическим слоем 2, который в процессе изготовления круга спекается. Торцевая поверхность круга и часть боковых поверхностей покрыты алмазоносным слоем 3. Толщина алмазоносного слоя внешних боковых поверхностей электрода-инструмента составляет от  $0,1R$  до  $0,2R$ .

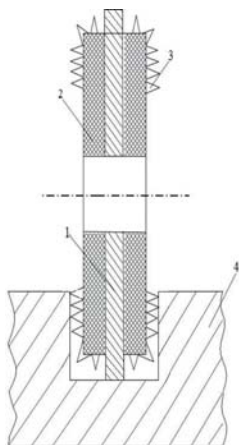


Рисунок 1 Новый электрод-инструмент (вид в сечении)

Принципиальное отличие нашего метода от существующих заключается в том, что исключается боковое травление, который присутствует во всех предшествующих работах. Электрический контакт между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой 4 (рисунок 1) происходит принципиально по новой схеме. В предлагаемом нами методе электрический ток подается точно, на микрозазор, т.е. обеспечивается обработка на более мягких режимах (на микротоках). Передача тока осуществляется через наноуглеродные волокна. Таким образом, найден способ управления передачей электроэнергии непосредственно на обрабатываемую область, где должен происходить съем.

Например, разрезают высокочистый вольфрамовый стержень (вольфрам относится к классу труднообрабатываемых материалов, имеющих высокую твердость и хрупкость) диаметром 6 мм и длиной 120 мм на пластины (таблетки) диаметром 6 мм длиной 1,2 мм. Весь процесс резки происходит в среде проточного электролита, в качестве электролита используют 15%-ный водный раствор нитрата натрия ( $\text{NaNO}_3$ ). К обрабатываемой заготовке и вращающемуся электроду-инструменту подают напряжение от источника технологического тока. Частота вращения электрода-инструмента 2800 об/мин, напряжение 8В, диаметр диска 100 мм, толщина 1 мм. При вращении электрода-инструмента и подаче его на врезание в заготовку обработка осуществляется вследствие электрохимического растворения материала заготовки, электроэрозионного и кавитационного разрушения, механического резания и удаления продуктов обработки.

После резки данным электродом-инструментом получают следующие результаты: не плоскопараллельность боковых поверхностей канала реза в пределах допуска 0,01 мм, шероховатость обработанных поверхностей находится в диапазоне  $Ra=0,03-0,05$  мм.

Таким образом, в новом электроде-инструменте плоскопараллельность боковых поверхностей канала реза достигается путем исключения электрического контакта между электродом-инструментом и боковыми поверхностями канала реза. Положительным результатом нового электрода-инструмента является исключение дополнительных операций обработки для устранения не плоскопараллельности поверхностей канала реза, что исключает потерю дефицитного материала и не требует дополнительных затрат[3].

### Список литературы

1. I.D. Akhmetov, The analysis and selection of methods and facilities for cutting of naturally-deficit materials / I.D. Akhmetov, A.R. Zakirova, Z.B. Sadykov // 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 134 012002 doi:10.1088/1757-899X/134/1/012002
2. Пат. 142793 Российская Федерация, МПК В23Н7/12, D23Н5/10. Устройство для комбинированного разрезания токопроводящих материалов / Хафизов И.И., Закирова А.Р., Садыков З.Б.; заявитель ФГАОУВПО КФУ. - № 2015111479; заявл. 02.07.2013; опубл. 10.07.2014
3. Пат. 2597843 Российская Федерация, МПК В23Н7/12, D23Н5/10. Электрод-инструмент для комбинированной резки токопроводящих материалов / Садыков З.Б., Закирова А.Р., Ахметов И.Д., Хафизов И.И., Кашапов Р.Н.; заявитель ФГАОУ ВО КФУ. - № 2015111479; заявл. 30.03.2015; опубл.20.09.2016

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОНДЕНСАТОРА ХОЛОДИЛЬНИКА

*Байгалиев Б.Е., Черноглазова А.В.*

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева,  
Казань, 420111, Карла Маркса, 10

**АННОТАЦИЯ.** Исследуется возможность замены конденсатора холодильника изготовленного из металла на конденсатор изготовленного из полимерного материала.

**ABSTRACT.** The possibility of replacing the capacitor refrigerator manufactured from a metal to a capacitor made of a polymeric material.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конденсатор холодильника, полимерный материал, коэффициент трения, теплообмен.

### ВВЕДЕНИЕ

Работы по совершенствованию холодильников ведутся многими исследователями [1-12].

Преимущество полимерных материалов по сравнению с другими материалами обеспечивается их невысокой плотностью, высокими диэлектрическими свойствами, усталостной и химической стойкостью, а также антифрикционными свойствами и дешевой исходного сырья.

Полимерные материалы имеют высокую технологичность, поскольку при переработке в готовые изделия отличаются малой операционностью и низкой энергоемкостью: по сравнению с алюминиевыми сплавами - в 5 раз, со сталью - в 3 раза.

Снижение эксплуатационных затрат на антикоррозионную защиту, смазку и замену изношенных деталей делает выбор полимерных материалов экономически наиболее предпочтительным.

Предметом наших исследований является изготовление конденсатора холодильного агрегата из полимерных материалов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материала змеевика использовали полимер полиамидной группы (Рилсан, диабон –F). Материал обладает следующими свойствами: высокой прочностью, жесткостью и вязкостью, а также стойкостью к воздействию внешней среды. Температура плавления, 180-220 °С. Плотность, 1,084 - 1,235 г/см<sup>3</sup>.

Согласно данным работы [1] коэффициент трения при течении по металлическим трубам  $\lambda$  равен 0,0525, а коэффициент трения при течении по полимерным трубам  $\lambda$  равен 0,0257.

Таким образом, при течении хладагента по каналу конденсатора потери напора в стальных трубах больше, чем в пластмассовых.

$$\frac{h_{\text{жс}}}{h_{\text{шт}}} = \frac{\lambda_{\text{с}}}{\lambda_{\text{п}}} = \frac{0.0525}{0.0257} = 2.04,$$

Это позволяет сделать вывод, что можно сократить длину труб конденсатора из полимеров в 2.04 раза по сравнению с длиной труб из металла.

Следовательно, при прочих равных условиях (коэффициент теплопроводности металла и полимера) длину труб конденсатора можно сократить длину труб конденсатора из полимеров в 2.04 раза по сравнению с длиной труб из металла.

Однако, коэффициент теплопроводности полимеров (0,1-0,3 Вт/(м·К), значительно меньше чем у металлов (57-400 Вт/(м·К) и следовательно коэффициент теплопередачи в конденсаторе изготовленном из полимерного материала значительно меньше, чем изготовленного из металла. Для обеспечения теплоотвода, такого же, как для металлического, от конденсатора из полимеров необходимо увеличить длину трубы до 14 метров при длине металлической 12 метров. Увеличение трубы на 2 метра возможно из-за увеличения коэффициента теплоотдачи при течении теплоносителя в полях массовых сил.

Рассмотрим повышение коэффициента теплоотдачи с целью уменьшения длины конденсатора. В работе [2,3] рассмотрена интенсификация процессов теплообмена в змеевиках спиралевидной формы (рис 1). При течении хладагента по спиралевидному каналу возрастает коэффициент теплоотдачи.

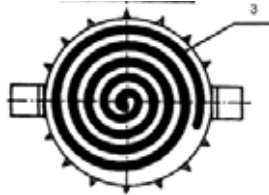


Рис. 1. Внешний вид конденсатора змеевика спиралевидной формы

Таким образом, массовые силы увеличивают коэффициент теплоотдачи змеевика по сравнению с прямой трубой на два метра.

Рассмотрим вопросы оценки энергозатрат при течении хладагента по металлическим и полимерным трубам.

Интенсификация теплообмена с помощью вторичных течений, обусловленных искривлением канала, с точки зрения энергетических затрат часто оказывается более целесообразной, чем достижение того же эффекта за счет увеличения скорости.

Так, для исходной системы с  $Re=10^4$  увеличение коэффициента теплоотдачи в 1,3 раза вследствие искривления трубы сопровождается уменьшением энергетических затрат на перемещение жидкости в 1,37 раза.

Снижение сопротивления на прокачку хладагента уменьшает энергозатраты в процессе эксплуатации холодильного оборудования, что позволит использовать компрессор меньшей мощности и тем самым снизить стоимость холодильника.

Таким образом, интенсификация теплообмена за счет увеличения скорости движения жидкости приводит к уменьшению энергетических затрат в 1,76 раза, за счет этого можно сократить длину канала и, как следствие, снизить энергозатраты на прокачку хладагента по трубке из полимерных материалов.

На основании выше изложенного были проведены работы по модернизации холодильника промышленного производства марки «Позис» г. Зеленодольск. Стандартный конденсатор диаметром 4 мм был заменен на конденсатор из полимерной трубки марки «Вилсан» диаметром 6 мм с толщиной стенки 0,5 мм.

После монтажа данного конденсатора на холодильник «Позис» проведены эксплуатационные испытания в течении 240 часов. Температурные режимы в морозильной камере и внутри холодильника имели такие же значения как в контрольном холодильнике с конденсатором из металла.

На рис. 2 приведен внешний вид холодильника с конденсатором из полимерного материала.



Рис. 2 Внешний вид холодильника с конденсатором из полимерного материала.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, предлагаемый способ изготовления конденсатора холодильного агрегата из полимерных материалов позволяет снизить себестоимость продукции, снизить энергозатраты в процессе изготовления и эксплуатации холодильного оборудования. А замена конденсатора из металла на конденсатор из полимера не меняет эксплуатационных характеристик холодильника.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Курганов А.М., Федоров Н.Ф.- СПРАВОЧНИК по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Стройиздат. Ленинградское отделение, 1978 г.
2. Болгарский А.В., Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача Издательство: Высшая школа Переиздание: 2-е изд., перераб. и доп.1975г,496с.
3. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил, В. К. Щукин.1970г, 332с
4. Малые холодильные установки и холодильный транспорт. Справочник. - М.: Пищевая пром-ть, 1978.
5. Справочник по теплообменникам. Т.1. Под редакцией Б.С.Петухова, В.К.Шикова. - М.: Энергоатом, 1987, с.321-323).
6. «Конденсатор холодильного агрегата бытового холодильника с естественной конвекцией воздуха и виброслоем» (патент РФ №2241922, МПК<sup>7</sup>F25B39/04, опубл.10.12.2004)
7. «Устройство охлаждения конденсатора компрессионного холодильника» (патент РФ №2468307, МПК<sup>7</sup>F25B1/00, опубл. 01.2006)

8. «Универсальное охлаждающее устройство для агрегатов с большой тепловой мощностью» (патент РФ №2290584, МПК <sup>7</sup>F28D15/00, опубл. 01.2006)

9. «Устройство холодильного агрегата бытового компрессионного холодильника» (патент РФ №2162576, МПК <sup>7</sup>F25B1/00, опубл. 01.2006)

10. «Компрессионный холодильный агрегат» (патент РФ №2169886, МПК <sup>7</sup>F25B1/00, опубл. 01.2006)

11. «Способ охлаждения конденсатора компрессионного холодильника» (патент РФ №2455586, МПК <sup>7</sup>F25B1/00, опубл. 01.2006)

12. «Теплообменник для холодильника и способ изготовления теплообменника» (патент РФ №2455586, МПК <sup>7</sup>F25B1/00, опубл. 01.2006)

УДК 629.113.004.67

## **АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Барыльникова Елена Петровна, кандидат технических наук, доцент  
Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский  
(Приволжский) Федеральный университет», 692401@mail.ru

Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта Набережночелнинского  
института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный  
университет», altrak09@mail.ru

Кулаков Олег Александрович, кандидат технических наук, ведущий специалист  
НК «Камазавтоспорт», oleg.kulakov@kamaz.ru

*Аннотация: в работе дана оценка влияния снижения давления в системе смазки на отказы подшипников коленчатого вала. Разработан способ адаптивирования смазочной системы дизельного двигателя по мере изнашивания в эксплуатации и в зависимости от режимов работы.*

*Abstract: This paper assesses the impact of reducing the pressure in the lubrication system on the failures of the crankshaft bearings. A method of adapting a lubricating system of the diesel engine as the wear in operation and depending on the operation modes.*

*Ключевые слова: дизельный двигатель; коленчатый вал; подшипник; вкладыш; изнашивание; техническое состояние; ресурс; давление; система смазывания.*

В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания (ДВС) шатунные подшипники испытывают масляное голодание из-за разрыва потока



в подводящих каналах. Это повышает вероятность возникновения такого дорогостоящего отказа, как проворачивание вкладышей [1], обусловленного снижением давления в системе смазки [2,3] (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Давление в системе смазки двигателя КАМАЗ-740 на различных пробегах

Частота, мин <sup>-1</sup>	Эксплуатационный пробег автомобиля, тыс. км						
	20	40	60	80	100	120	140
2600	0,39	0,34	0,35	0,29	0,24	0,23	0,23
600	0,21	0,17	0,16	0,12	0,07	0,09	0,07

Причиной снижения давления в системе смазки двигателей на номинальном режиме до  $P = 0,2 \div 0,3$  МПа через  $100 \div 140$  тыс.км. может быть недостаточная производительность масляного насоса [3, 4].

Начиная с двигателей КАМАЗ-740.11 применяется насос повышенной производительности [2], что позволило замедлить темп снижения давления в эксплуатации (рис. 1).

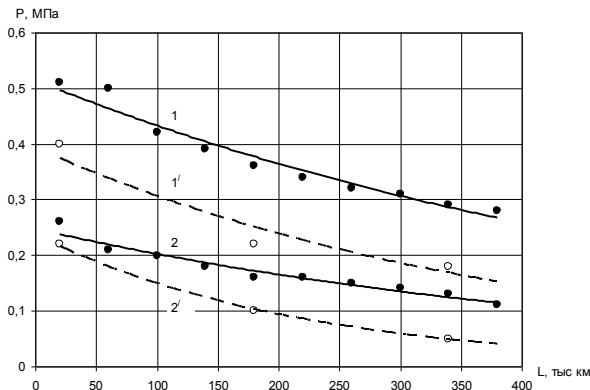


Рис. 1. Зависимость давления в системе смазки двигателей КамАЗ от наработки: без штриха – КамАЗ-Евро; со штрихом – КамАЗ-740 (1 – при  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>; 2 – при  $n = 600$  мин<sup>-1</sup>)

Работоспособность подшипников в основном определяется условиями смазки и в свою очередь износы подшипников приводят к снижению давления в различных частях системы смазки [2]. Поэтому степень износа подшипников двигателя внутреннего сгорания (ДВС) определяет давление в различных точках системы смазки.

Для обеспечения постоянства потока масла к шатунным подшипникам, его неразрывности, и наличия его в центробежной ловушке, необходимо постоянное сохранение избыточного давления масла по оси коленчатого вала не менее 0,2 МПа, как в начальный период эксплуатации двигателя [3].

С ростом частоты вращения коленчатого вала двигателя растут потери давления от инерционных сил. Зазор в коренном подшипнике увеличивается из-за износов, а также при воздействии нагрузки вследствие возрастания относительного эксцентриситета. В результате увеличивается расход масла через зазор в коренном подшипнике. При этом постоянно уменьшается подача масла через канал коленчатого вала до его оси. Все это приводит к тому, что давление масла по оси коленчатого вала будет уменьшаться. Одновременно увеличивается расход зазоры в шатунных подшипниках из-за роста величины зазоров. При этом величина давления по оси коленчатого вала постоянно снижается и может равняться нулю, что является предельной величиной. Установлено, что у новых двигателей эта величина давления составляет 0,2-0,3 МПа. Допустимым давлением можно принять 0,05 МПа, предельным 0 МПа.

В разработанном способе безразборной диагностики степени износа подшипников ДВС [5] предложено измерять давление в масляной магистрали на участке канала подвода масла к шатунным подшипникам по оси коленчатого вала после коренных подшипников при работе двигателя. Полученное значение на любом режиме должно быть больше нуля.

Использование предлагаемого способа оценки технического состояния ДВС позволяет достоверно определять состояние подшипников кривошипно-шатунного механизма, а также прогнозировать время безаварийной работы двигателя и остаточный ресурс.

Для того, чтобы система смазывания самонастраивалась по мере изнашивания ДВС разработана адаптивная система смазки, отличающаяся от традиционных следующим.

В корпусе масляного насоса установлены клапаны: редукционный и системы смазки (дифференциальный). Редукционный клапан предназначен для ограничения максимального давления масла на выходе из насоса и отрегулирован на давление открытия 0,85-0,89 МПа, а клапан системы смазки должен поддерживать рабочее давление в главной масляной магистрали 0,40-0,45 МПа. При этом управляющее давление поступает из главного масляного канала блока цилиндров. Основное его назначение -управлять сливом масла из области высокого давления, не допуская снижения и превышения давления настройки [1].

Недостатком данного устройства является то, что настройка клапанов не учитывает изменение расхода масла через потребители, особенно через шатунные подшипники, по мере изнашивания в процессе эксплуатации.

В адаптивной системе смазки настройка дифференциального клапана учитывает изменение расхода масла через шатунные подшипники по мере их изнашивания в процессе эксплуатации благодаря тому, что канал для подвода управляющего давления к дифференциальному клапану с оси коленчатого вала через муфту (рис. 2).

В начале эксплуатации двигателя адаптивная система будет поддерживать давление масла на выходе из масляного насоса  $\sum$ , равное сумме избыточного давления 0,2 МПа и потерь от центробежных сил и потерь на потребителей. Эта сумма составляет 0,5 МПа. При возрастании потерь давления из-за увеличения

расхода масла через коренной и шатунный подшипники вследствие изнашивания деталей, для поддержания необходимого избыточного давления 0,2 МПа дифференциальный клапан смазочной системы 2 будет прикрываться. Давление на выходе из масляного насоса увеличится, следовательно, поднимется давление в системе смазки. Аналогично устройство будет срабатывать при увеличении частоты вращения коленчатого вала 16, приводящих к возрастанию потерь давления от центробежных сил.

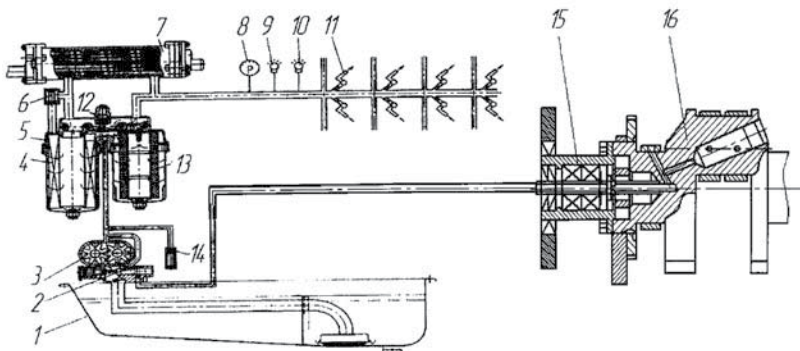


Рис. 2. Принципиальная схема адаптивной системы подачи смазочного материала в ДВС:

1 - масляный картер; 2 - дифференциальный клапан смазочной системы; 3 - масляный насос; 4 - полнопоточный элемент фильтра; 5 - масляный фильтр; 6 - перепускной клапан; 7 - водомасляный теплообменник; 8 - указатель давления масла; 9 - сигнализатор аварийного падения давления масла; 10 - сигнализатор перегрева масла; 11 - форсунки охлаждения поршней; 12 - термоклапан; 13 - частично-поточный элемент фильтра; 14 - редукционный клапан; 15 - муфта; 16 - коленчатый вал.

Таким образом, настройка клапана будет учитывать изменение расхода масла через подшипники по мере их изнашивания в процессе эксплуатации, что позволит изменять давление в системе смазки ДВС и поддерживать оптимальные условия смазывания.

### Литература

1. Денисов А.С., Кулаков А.Т. Обеспечение надежности автотракторных двигателей. - Саратов: Саратов. Гос. Техн. Ун-т, 2007. - 422 с.
2. Двигатель КамАЗ 740.11-240 Руководство по эксплуатации 740.11-3902001РЭ, Набережные Челны, 1977. - 120 с.
3. Кулаков О.А. Изменения условий смазки шатунных подшипников в процессе эксплуатации двигателя / О.А. Кулаков, А.Т. Кулаков, А.С. Денисов,

А.А. Гафиятуллин // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2010. - №10. - С.13-22.

4. Кулаков О.А. Экспериментальное исследование изменения условий смазки шатунных подшипников в процессе эксплуатации / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин, О.А. Кулаков // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2008. - №4. - С.17-20.

5. Способ безразборной диагностики степени износа подшипников двигателя внутреннего сгорания. Патент на изобретение № 2560972 от 06.05.2013 г. / А.А. Макушин, О.А. Кулаков, А.Т. Кулаков, Е.П. Барыльникова, А.А. Гафиятуллин.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЗАЦИИ СТРУКТУР В СВАРКЕ**

Беляев Алексей Витальевич, Галимов Энгель Рафикович  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Показаны области применения метода параметризации микроструктур применительно к объектам машиностроения. Рассмотрены вопросы использования метода для прогнозирования механических свойств сварных соединений. Установлены зависимости, влияющие на точность оценки твердости по Виккерсу сварных соединений из аустенитной стали 10X11H20T2P. Разработан алгоритм и методика прогнозирования твердости сварных соединений объектов машиностроения.

Annotation. Showing the scope of the method parameterization microstructure for facilities engineering. Address the use of the method for predicting the mechanical properties of the weld compounds. The dependencies that affect the accuracy of the evaluation of the Vickers hardness of welded joints of austenitic steel «10X11H20T2P». An algorithm and a method for predicting the hardness of welded joints facilities engineering.

Ключевые слова: сварные соединения, аустенитные стали, твердость.

Для определения надежности конструкций в процессе эксплуатации возникает необходимость диагностирования структурного состояния и механических свойств материалов, которые выявляются традиционными методами металлографии и механическими испытаниями. Однако в ряде случаев это требует проведения длительных и трудоемких операций. Одним из перспективных методов, позволяющий идентифицировать параметры микроструктуры и прогнозировать механические свойства материалов, является применение методологии мультифрактальной параметризации (МФП).

Метод МФП структур позволяет диагностировать состояние материала при существующем разбросе структур в рамках рекомендованной технологии.

Возможно проведение селекции структуры материала, забраковывать структуры, которые проявляют чувствительность к условиям их нагружения.

МФП успешно применяется для выбора оптимальных условий термической обработки, где наиболее информативными параметрами канонических спектров являются параметры однородности и упорядоченности. Любые «аномалии» этих мультифрактальных характеристик при исследовании режимов термической обработки предшествуют началу образования крупных зерен, их объединению в гигантские зерна и др. С помощью мультифрактального анализа микроструктур возможно произвести правильный выбор сырья и условий термообработки [1].

Встовским Г.В. была написана универсальная программа МФП, при помощи которой можно обрабатывать черно-белые фотографии любых структур, независимо от области, к которой относится изучаемый объект.

В качестве основных результатов в исследовании выбраны характеристики упорядоченности  $D_1 - D_{200}$  и однородности  $F_{200}$ , которые вычислялись с помощью программы «MFRDrom». Объектом исследований выступала жаропрочная сталь аустенитного класса 10X11H20T2P. Металлографические изображения структуры образцов получали с использованием автоматической установки для шлифования и полирования. Для выявления границ зерен стали 10X11H20T2P применялся реактив Крупа. Фиксацию изображений производили с помощью стационарного микроскопа с увеличением до  $\times 1200$  крат, имеющего встроенную цифровую камеру AxioCamHR для захвата микроструктур. Обработку результатов исследований проводили на персональном компьютере со следующим программным обеспечением: AxioVision, Adobe Photoshop, MFRDrom, MS Excel, MathCAD. Предварительная подготовка изображений изучаемых структур заключалась в обработке цифровых изображений с использованием средств компьютерной графики. Для этого из полученных с цифровой камеры микроскопа фотографий формата «Jpeg» вырезались по 9 областей симметрично относительно исходного изображения, преобразовывались в битовый формат «.BMP» с максимальной контрастностью (100%). Обработка исследуемой серии микроструктур заключалась в их загрузке в программу «MFRDrom», выборе типа спектра, количества знаков после запятой, цвета основы и площади покрытия. Мультифрактальные параметры рассчитаны при  $q = 200$ , тип спектра Pseudo, цвет основы – white, размер изображений  $512 \times 512$  пикселей, площадь покрытия 100%, разрешение 300 пикселей на дюйм, преобразование методом 50% порог.

Твердость стали аустенитного класса определялась методом Виккерса.

Авторами статьи, на основе анализа литературных данных [3] и проведенных исследований, установлено, что существует достаточно четкая корреляция (рис. 1) между баллом зерна, разрешением с которым получено изображение и параметрами однородности и упорядоченности. Это может являться основой при определении балла зерна для его автоматизированной оценки [4].

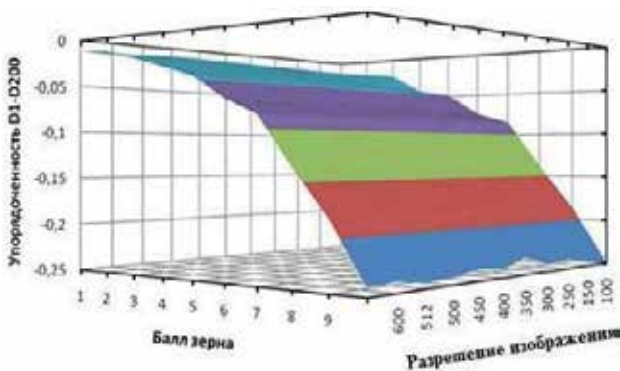


Рис. 1. Зависимость упорядоченности от балла зерна и разрешения

В реальных условиях при сварке возникают различные дефекты. Поэтому расчет характеристик упорядоченности и однородности образцов проведен как на годных сварных швах, так и с дефектами. В качестве дефекта была взята трещина по сварному соединению (рис. 2).

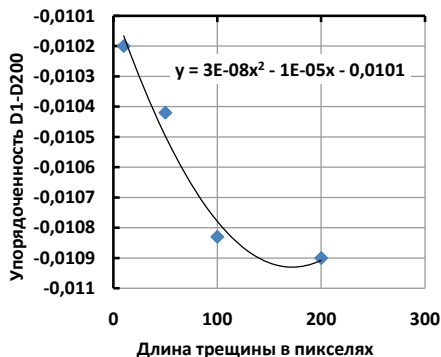


Рис. 2. Зависимость упорядоченности структуры от длины трещины

Для всех исследуемых образцов аппроксимацией и сглаживанием получены системы уравнений: твердости по сечению в поперечном направлении в сварном соединении; однородности  $F_{200}$  и упорядоченности  $D_1 - D_{200}$  структуры. Прогнозирование твердости может быть проведено нормировкой функций, составлением матрицы планирования полного факторного эксперимента, оценкой однородности дисперсий функции отклика и вычислением коэффициентов полинома математической модели.

Последовательность прогнозирования твердости, приведенная на рис. 3, включает следующие этапы:

1. Получение микроструктуры образца.

2. На данном этапе с помощью программы «MFRDrom» вычисляются соответствующие параметры: однородность  $F_{200}$ , упорядоченность  $D_1 - D_{200}$  и балл зерна различных участков сварного шва.



Рис. 3. Последовательность прогнозирования твердости

3. На этом этапе алгоритма производится аппроксимация функций твердости HV, однородности  $F_{200}$  и упорядоченности  $D_1 - D_{200}$ , с привязкой их к координатам сварного соединения, т.е. отдельные участки и зоны будут иметь строго определенные значения аппроксимированных функций.

Таким образом, на основании анализа литературных данных и проведенного исследования установлена взаимосвязь мультифрактальных параметров, разрешения изображений микроструктуры и балла зерна; установлен характер влияния дефектов получения и сварки на результаты параметризации микроструктуры (поры, шлаковые включения, горячие трещины и др.).

### Список литературы

1. Встовский Г.В. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов / Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин // Ижевск: Научно-издательский центр "Регулярная и хаотическая динамика". – 2001. - 116 с.
2. Встовский Г.В. Элементы информационной физики / Г.В. Встовский – М.: МГИУ, 2002. – 260 с.
3. Анваров А. Д. Методика оценки ресурса безопасной эксплуатации оборудования химических производств на основе методологии мультифрактальной параметризации. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань., 2006. – 21 с.
4. Беляев А.В. Влияние подготовки изображений на результаты параметризации структур сварных соединений из сталей аустенитного класса / Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова, А.С. Маминов, С.В. Курьинцев, А.В. Беляев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011, №3 (63). – С. 18-21.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛЫ

Габдрахманов Азат Талгатович, Галиакбаров Азат Талгатович,  
Исрафилов Ирек Хуснемарданович, Габдрахманов Алмаз Талгатович  
Набережночелнинский институт КФУ, 423810, г. Набережные Челны,  
пр-т Мира 68/19, ATGabdrahmanov@kpfu.ru

**Аннотация:** Рассмотрены процессы взаимодействия лазерного излучения с поверхностным слоем металла при лазерном воздействии, а также основные факторы, влияющие на поглощательную способность металла при поверхностной обработке лазерным лучом. Предложен способ увеличения поглощательной способности лазерного излучения предварительным нагревом материала плазмотроном. Представлены результаты комбинированного лазерно-плазменного воздействия.

**Annotation:** Processes of laser-surface of the metal layer interaction by laser irradiation and the main factors influencing the absorptive capacity of the metal with a surface treatment by a laser beam were considered. A method of increasing the absorption capacity of laser radiation preheating material by plasma torch was proposed. The results of combined laser-plasma influence was presented.

**Ключевые слова:** лазер, поглощательная способность, плазма.

Развитие современного производства обуславливает все возрастающее внедрение наукоемких технологий, в частности, лазерной обработки материалов. Такая обработка является одной из технологий, которые определяют современный уровень производства в промышленно-развитых странах. Использование лазерной обработки материалов позволяет обеспечить высокое качество получаемых изделий, заданную производительность процессов, экологическую чистоту, а также экономии людских и материальных ресурсов.

В настоящее время применение лазерных технологий в приборостроительном производстве чрезвычайно разнообразно. К числу таких технологий относятся сварка, термоупрочнение, легирование, наплавка, резка, размерная обработка, маркировка, гравировка, прецизионная микросварка и многие другие[1]. В некоторых случаях лучевые технологии находятся вне конкуренции, так как с помощью лазеров можно получить технические и экономические результаты, которых нельзя достичь другими техническими средствами.

Проблема лазерной обработки материалов заключается в перенесении максимального количества энергии лазерного излучения в материал. В любом случае лазерного теплового воздействия на материалы важна не просто мощность лазерного излучения, а мощность, поглощенная материалом и идущая на получение полезного результата. Поглощательная способность в той или иной форме фигурирует во всех лазерных технологических процессах.



Известно несколько способов повышения поглощательной способности металлов [2, 3]: изменение шероховатости поверхности, образование оксидных пленок при обработке в окислительной среде, нанесение специальных поглощающих покрытий, предварительный нагрев и др. Применение увеличения шероховатости и нанесение различных покрытий не всегда целесообразно из-за увеличения времени обработки и изменения поверхностных свойств материала.

Известно [1], что наиболее низким коэффициентом поглощения характеризуется воздействие излучения технологически перспективных CO<sub>2</sub>-лазеров. Низкий уровень поглощения создает на первый взгляд бесперспективную ситуацию с возможностью использования CO<sub>2</sub>-излучения для обработки металлов. Однако решающим фактором при этом является существенное увеличение поглощательной способности с повышением температуры обрабатываемой поверхности. Поглощательная способность неокисленной металлической поверхности при длине волны лазерного излучения  $\lambda = 10,6$  мкм можно определить по уравнению Хагена—Рубенса:

$$A = 112,2(\sigma_0^{-1})^{1/2}$$

где  $A$  — поглощательная способность металла;  $\sigma_0$  — удельная электропроводность металла при постоянной величине тока, 1/(Ом·м). С увеличением температуры электропроводность металлов уменьшается и соответственно коэффициент поглощения возрастает.

В работе предлагается способ увеличения поглощательной способности лазерного излучения предварительным нагревом материала линейным плазмотроном косвенного действия небольшой мощности. Применение плазмотронов прямого действия может привести к оплавлению поверхности и ухудшению ее параметров качества.

Были проведены экспериментальные исследования на разработанной лазерно-плазменной гибридной установке. Обработке подвергались образцы из сталей: 45, 09Г2С, 08КП. Для сравнения сначала образцы обрабатывались только лазерным излучением, потом комбинированным лазерно-плазменным воздействием (рис. 1). Режимы лазерного излучения в ходе проведения исследования изменялись в диапазонах:  $t=1,5 \dots 2,5$  мс,  $E=1,4 \dots 5,3$  Дж,  $d_n=2$  мм (где  $t$ — время импульса,  $E$ — энергия в импульсе,  $d_n$ — диаметр сфокусированного излучения).

Исследования микроструктуры образцов проводились на металлографическом инвертированном микроскопе ЛабoМет-И (рис. 1).

После обработки проводились измерения микротвердости по методу Виккерса при нагрузке 100гс на цифровом микротвердомере модели HVS-1000. Для проведения замеров были приготовлены шлифы, вырезанные вдоль дорожки и максимально приближенные к дорожке точек. Некоторые результаты измерений микротвердости представлены на рисунке 2.

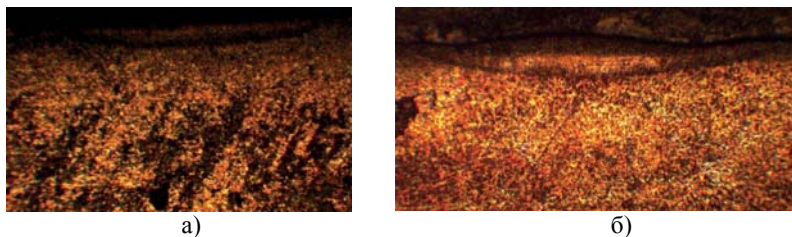


Рисунок 1 – Результаты металлографии: образцы после лазерного (а) и лазерно-плазменного (б) воздействия, режимы обработки:  $t=2\text{мс}$ ,  $E=5,2\text{Дж}$ ,  $d_n=2\text{мм}$ , увеличение:  $\times 80$ .

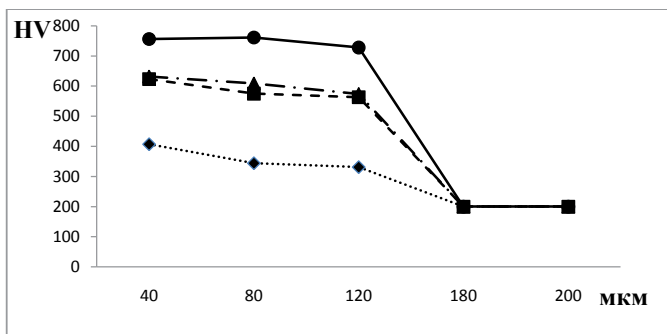


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по глубине, образец сталь 45, режимы обработки:  $\cdot\cdot\cdot\cdot$  - лазер  $t=2\text{мс}$ ,  $E=3\text{Дж}$ ,  $d_n=2\text{мм}$ ;  $-\cdot-\cdot-$  - лазер  $t=2\text{мс}$ ,  $E=5,2\text{Дж}$ ,  $d_n=2\text{мм}$ ;  $-\cdot-\cdot-$  - лазер+плазма  $t=2\text{мс}$ ,  $E=3\text{Дж}$ ,  $d_n=2\text{мм}$ ;  $—$  - лазер+плазма  $t=2\text{мс}$ ,  $E=5,2\text{Дж}$ ,  $d_n=2\text{мм}$ .

При комбинированном воздействии плазмы и лазерного излучения наблюдается увеличение микротвердости на 30-40% по сравнению с лазерным.

Металлографические исследования стали 45 в области лазерного так и лазерно-плазменного воздействия (рис.1, 2) показали, что зона термического воздействия плазменной струи имеет форму сегмента. При нагреве плазменной струей поверхности металла происходит нагрев поверхности слоя до различных температур, вследствие чего он имеет слоистое строение. В зависимости от микроструктуры и микротвердости в стали 45 по глубине образовались три слоя: зона оплавления, закалка из твердой фазы и переходная зона.

Были проведены испытания разработанной установки для проверки эффективности работы лазерно-плазменной гибридной установки по сравнению с лазерной установкой, на различных образцах. В результате данных испытаний было определено, что предварительный плазменный нагрев образцов увеличивает эффективность воздействия лазерного излучения.

### Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 664 с
2. Кострицкий В.В., Лисовский А.Л. Повышение поглощательной способности поверхностного слоя металла при лазерном воздействии с помощью поглощающих покрытий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2013. № 3. С. 97-101.
3. Башмаков А.Д., Габдрахманов А.Т., Исафилов И.Х., Галиакбаров А.Т. Электростатическое поле как фактор повышения стабильности качества лазерной обработки металлов // МНТК «ИМТОМ-2013». Ч.1. –Казань, 2013. –С. 325-328.

### РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Гавариева К.Н.<sup>1</sup>, Симонова Л.А.<sup>1</sup>, Панкратов Д.Л.<sup>1</sup>, Гавариев Р.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет,

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева

Аннотация: В статье рассматривается главная составляющая экспертной системы процесса литья под давлением (ЛПД), которая состоит из алгоритмов, объединенных в логические модели. Описаны характеристики системы интеллектуальной надстройки, позволяющие минимизировать возникновение дефектов процесса ЛПД. Разработан ряд логически взаимосвязанных шагов, обеспечивающих оптимизацию основных параметров качества получаемых отливок.

*Ключевые слова:* экспертная система, литье под давлением, база знаний, эксперты, объект управления.

Annotation: In article the main component of expert system of process of casting under pressure which consists of algorithms, united in logical models is considered. The characteristics of system showing data on a condition of an object of management are described. A number of logically interconnected steps allowing to increase quality of the received castings is developed.

*Keywords:* expert system, casting under pressure, the knowledge base, experts, object of management.

В области ЛПД для решения задач, направленных на достижение высокого качества отливки и исключения брака на этапе проектирования и

формирования оптимальных технологических процессов, автоматизированных информационных систем не существует. В последние годы все чаще стал рассматриваться вопрос о применении экспертных систем (ЭС) в производстве при моделировании технологического процесса на основе искусственного интеллекта. [1].

Экспертная система должна при моделировании технологического процесса ЛПД учитывать состояние машин и механизмов на стадии эксплуатации, материальные, трудовые и финансовые ресурсы предприятия[2]. Структурная модель системы состоит из реализуемых элементов (основная линия), модулей и связей (пунктирные линии), а также внешних подключаемых проектирующих и моделирующих модулей (штрихпунктирная линия) (рисунок 1). Данная экспертная система на основе модели дефекта позволяет группировать и синтезировать информационные потоки между элементами. База знаний экспертной системы формируется на основе модели отливки с учетом уточнения правил логического вывода.



Рисунок 1- Структурная модель экспертной системы

Подбор модели представления знаний осуществляется с учетом заданной задачи и экспертной оценки в виде набора эвристических приемов, взаимосвязанных между собой логической цепочкой.

Важное место в схеме занимает банк данных эвристических приемов, т.е. фактически на них основывается весь процесс логического вывода. Полное описание эвристических приемов и их связь с процедурами вывода предоставляет модель дефекта.

Одно из задач экспертной системы является повышение качества литья, которое обеспечивается путем взаимосвязи с нижним уровнем, а именно системой управления технологическим процессом (SCADA-система). Для этого предусмотрено как классические компоненты, такие как база знаний и база данных, так и компоненты, характерные для соответствующего класса

информационных систем, с которыми производится интеграция. Для решения проблемы их взаимодействия и обеспечения целостности процесса проектирования и разработки используется система интегрированных информационных моделей. Система базируется на многоуровневой семантической модели знаний, включающая в себя семантику предметных моделей объектов и задач; семантику алгоритмов и программ; семантику связей предметных моделей с формальными моделями и формальных моделей с алгоритмами и программами.

Наиболее рациональным для процесса ЛПД является применение продукционных экспертных систем с обратной цепочкой вывода. Это связано с тем, что анализ или моделирование процесса ЛПД предполагает использование законов физики, описывающих параметры процесса литья, такие как распределение температуры, давление, движение жидкости, фазовый переход вещества. При этом указанные составляющие процесса действуют одновременно на конечный результат, поэтому теоретическое описание и прогнозирование влияния параметров процесса на конечный результат является сложной задачей, требующей конкретных данных практических испытаний и экспериментов, составляющих определенную базу знаний процесса ЛПД. Знания в экспертной системе прописываются в виде продукций (правил) вида «ЕСЛИ условие ТО вывод». Так, одними из наиболее значимых правил процесса ЛПД являются следующие: если увеличить температуру расплава, то получаемые отливки будут обладать пониженной прочностью; если понизить температуру расплава, то получаемые отливки будут иметь пустоты в своем объеме. Составляющие правила «условие» и «вывод» являются фактами, которые могут быть записаны с помощью компонентов «объект-атрибут-значение».

В качестве объекта выступает получаемая отливка или же какой-либо определенный параметр, получаемой отливки, например пористость или прочность, а атрибутом является какой-либо параметр ЛПД, напрямую или косвенно влияющий на объект, например температура расплава, температура пресс-формы, давление, скорость прессования, материал расплава и пресс-формы, количество формообразующих гнезд пресс-формы, вид охлаждения и другие. На основе практических данных выбор конкретных значений атрибутов позволяет получить объект с заранее заданными свойствами. Выбор поставленной задачи задается формулировкой цели консультации, которая решает определенную проблему какого-либо параметра качества реальной отливки. Для задания цели консультации технолог отбирает пару «объект - атрибут», из списка на основании информации из базы знаний экспертной системы.

Логический вывод выполняется экспертной системой после задания пользователем цели консультации. В этот момент в базе знаний происходит поиск первой гипотезы, входящей в однородную группу гипотез, которая соответствует цели консультации.

Однако необходимо учитывать правильность установки последовательности фактов при создании базы знаний [3]. В случае ошибки

происходит удлинение цепочки вывода и появление не разрешаемых вопросов, что в итоге приведет к несоответствию задачам экспертной системы - проектирование рассуждений экспертов. После определения первой гипотезы выполняется логический вывод в соответствии с алгоритмом обратной цепочки рассуждений для доказательства текущей гипотезы. Данные этапы выполняются для всех гипотез, направленных на цели консультации до тех пор, пока одна из них не будет доказана. Доказанная гипотеза определяется, как рекомендацией. Важно отметить, что в области экспертной системы одна рекомендация эквивалентна группе рекомендаций (алгоритму действий) предметной области. Если нет доказательств ни одной из гипотез, то в виде рекомендации принимается гипотеза с большим показателем апостериорной вероятности.

Экспертная система может включать большое множество различных вопросов, которые задаются в зависимости от квалификации пользователя [4]. Если коэффициент факта меньше, чем значение уровня квалификации пользователя, то экспертная система должна выявить его вероятность, основанную на опыте. Иначе для фиксирования факта экспертная система находит в базе знаний соответствующее правило и производит расчет по формуле Байеса, вставляя в нее значения из найденного правила.

Подбор модели представления знаний характеризуется заданной задачей и знаниями экспертов[5]. Эксперты представлены в виде набора эвристических приемов, взаимосвязанных между собой логической цепочкой. Выбор определен, основываясь на используемую модель представления знаний, реальность вывода внешних расчетных модулей с помощью файла контекста, а также доступность исходных программных модулей для разновидности и адаптации экспертной системы относительно решаемых задач.

Допустим, заданная цель – минимизировать количество брака при ЛПД. Учитывая, неясность формализации цели, необходимым является использование методов искусственного интеллекта. Однако в процессе логического вывода появляются несколько подзадач, решаемые стандартными вычислительными методами [6]. Но для данных задач, уже имеется четкий алгоритм и готовые программы.

Для того, чтобы реализовать экспертную систему в области формулировок вопросов и логического вывода надо приспособить ее для достижения поставленной цели. В связи с этим, были утверждены дополнительные виды вопросов, позволяющие быстрее и точнее получать данные.

Кроме общеустановленного вопроса по оценке степени фактичности утверждения появилась возможность исключения гипотез, жесткого отбора одной из гипотез (например, выбор цвета дефекта), согласования некоторых гипотез (например, на производстве может быть дефект только двух типов).

Проработанные производственные правила показаны в виде иерархического графа. Граф имеет четкую структурную последовательность рассмотрения основных правил (Р) и рекомендаций (R) при контроле и прогнозировании причин, которые приводят к появлению дефектов при литье и возможные

рекомендации их снижения и устранения (рисунок 2). Фрагмент продукционных правил представлен в таблице 1.

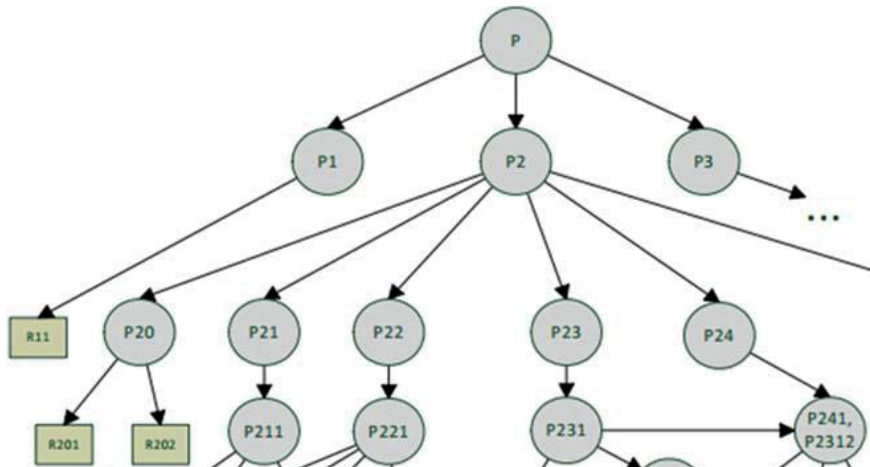


Рисунок 2 -Граф продукционных правил и рекомендаций (фрагмент)

Таблица 1 – продукционные правила (фрагмент).

Обоз.	Имя правила	Содержание правила	
		Условие «Если»	Действие «Тогда»
1	2	3	4
P2	Холодный спай	Слишком низкая скорость впрыска. Слишком малая толщина стенки	Повысить температуру расплава и формы (P20), при необходимости изменить местоположение впускного литника (P211), чтобы улучшить условия течения и Увеличить скорость впрыска (P22) и Уравнять толщины стенок (P23) и Улучшить удаление воздуха из формы (P24).

Таким образом, применение нечеткой логики в интеллектуальной надстройке экспертной системы позволяет спрогнозировать качество получаемых отливок, в зависимости от основных параметров процесса ЛПД, задающихся технологом и конструктором пресс-форм. При этом, в случае нехватки опыта, знаний или квалификации указанных специалистов в каком-либо отдельно взятом случае, возможно проведение оптимизации существующего или прогнозирование нового процесса за счет введения лингвистических переменных, определяющих основные параметры изготовления отливок, такие как температура расплава и пресс-формы,

давление запирающего поршня, скорость прессования, сложность пресс-формы и конфигурации отливки.

### Список литературы:

1. Коростелев, В.Ф. Теория, технология и автоматизация ЛПД Текст.: моногр. / В.Ф; Коростелев. М.: Новые технологии, 2004. - 224 с. - ISBN 5-94694-016-3.
2. Сабилов, Д.Х. Компьютерные технологии в литейном производстве Текст. : труды седьмого съезда литейщиков России, т. II / Д.Х. Сабилов. Новосибирск, 2005. - С. 208-216.
3. Баландин Г.Ф. «Структурно-механические свойства сплавов» AlSi в интервале кристаллизации и анализ их жидкотекучести [Текст]: сб. Теплообмен между отливкой и формой- / Г.Ф. Баландин, Л.П. Каширцев. -Минск: Высшая школа, 1967. - С. 59.
4. Васильев, В.А. Реконфигурация интегрированной системы управления с помощью экспертной системы [Текст] // Вопросы кибернетики. Управляющие вычислительные системы движущихся объектов / В.А. Васильев, М.И. Левкин, А.И". Павленко / под ред. И.С. Уколова. Вып. 139. — М.: 1988. - С. 90-97.
5. Рассказчиков, А.Н. Моделирование процесса литья с наложением давления на кристаллизующийся металл [Текст] // Математические методы в технике и технологиях: Сборник трудов XXI международной научной конференции. - Саратов, 2008.
6. Гавариева К.Н. Влияние тепловых факторов на процесс ЛПД цинковых сплавов/К.Н.Гавариева, Д.Л. Панкратов, Р.В.Гавариев //Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции. Том 2, 2014.- с.308-313.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЙНИЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ С МИКРОСФЕРАМИ

Галимов Энгель Рафикович, Пряхин Юрий Алексеевич,  
Тукбаев Эрнст Ерусланович, Фазлыев Ленар Равилевич  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Рассматриваются вопросы расчета на основе аббераций 3-го порядка и приближения Фраунгофера и в лучевом приближении индикатрис отражения (ИО) световозвращающих покрытий, содержащих катадиоптрическую систему на основе стеклянных микрошариков. Сформулированы основные соотношения, проведены экспериментальные исследования индикатрис.



Annotation. We consider the methods for calculation on ground aberrations third orders and fraunhofer diffraction research reflection indicatrix pilot reflective multilayer coatings containing cathadioptric system glass microspheres. Experimental studies of the indicatrix made by us in vitro reflecting.

Ключевые слова: катадиоптрический отражатель, световозвращение, aberrации, приближение Фраунгофера, индикатриса рассеяния.

Светоотражатели световозвращающего типа получили широкое распространение, прежде всего при организации дорожного движения, в качестве покрытий дорожных знаков, номеров транспортных средств. Они также применяются в военной и космической технике как элементы измерительных систем [1]. Основным элементом такого световозвращателя, определяющего его оптические свойства, является микросферическая линза. Лучи света, проходя через линзу, испытывают отражение на её внешней и внутренней поверхностях и выходят, в том числе, в направлениях обратных направлению распространения падающего пучка [3]. Исследованию СВП на основе угловых отражателей посвящено много ряд работ, например, [3,4], исследованию микросферических СВП мало [1-3]. Структуру покрытия (вариант) можно представить в виде многослойной планарной структуры с расположенными в ней микросферами (рис. 1).

Особенности отражения СВП определяются оптическими свойствами отражения излучения микросферами, которое характеризуется индикатрисой рассеяния (ИР) – угловой зависимостью потока излучения отраженного (рассеянного) света. Отражение света от микросфер хорошо известно в виде явления радуги и гало – обратное отражение света от водяных капель [5]. При решении задачи дифракции плоской волны, например, на однородном диэлектрическом цилиндре, выражение для рассеянного поля может быть записано в виде ряда по цилиндрическим волнам – ряда Дебая [5], с коэффициентами, учитывающими  $(p-1)$  кратные внутренние отражения от поверхности цилиндра. Если рассматривать только первый член дебаевского разложения ( $p=0$ ), то можно показать, что поле в геометрической оптике нетрудно найти, умножая поле соответствующего луча на френелевский коэффициент отражения [5,6].

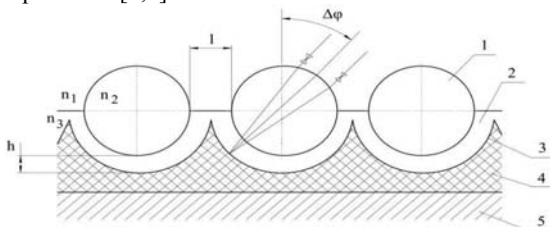


Рис. 1. Схема СВП: 1 – шарик, 2 – промежуточный слой, 3 – отражающий слой, 4 – связующий слой, 5 – подложка;  $n_1$ –показатели преломления сред, 1 – расстояние между шариками,  $h$  – глубина погружения шариков,  $\Delta\varphi$  – рабочий угол СВП

Рассеянное поле можно представить себе состоящим из двух частей – одна из которых обусловлена отражением и преломлением на сфере, другая – дифракцией волнового фронта на внешней границе рассеивающей сферы. Интерференция между различными составляющими приводит к появлению быстрых осцилляций интенсивности при изменении направления наблюдения. Если радиус сферы  $r$  гораздо больше длины волны  $\lambda$  (в нашем случае  $2r/\lambda \sim 200$ ), то поле рассеяния такой сферы можно найти используя приближение геометрической оптики [6, с. 469].

Выражение для углов и индикатрисы рассеяния при дифракции на больших сферах приведено в [5].

Шар как оптическая линзовая система (рис.2), задается радиусом поверхности  $r$ , показателями преломления (ПП) окружающей среды и шара ( $n_1, n_2, n_3$ ) и характеризуется также парааксиальными параметрами – фокусным расстоянием  $f'$  и задним фокальным отрезком –  $S'_{F'}$ . Заднее фокальное расстояние шара

$$f' = \frac{n_2 n_3 r_1 r_2}{n_2 r_2 (n_2 - n_1) + n_2 r_1 (n_3 - n_2) - d (n_2 - n_1)(n_3 - n_2)}, \quad (1)$$

$$S'_{F'} = f' \left\{ 1 - \frac{(n_2 - n_1)d}{n_2 n_1} \right\}, \quad (2)$$

где  $n_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  – показатели преломления сред,  $r_1, r_2$  – радиусы передней и задней поверхности линзы,  $d$  – толщина линзы.

Обратная по ходу лучей поверхность шара в катадиоптрическом отражателе (КСВ) имеет зеркальное покрытие. Угол отраженного луча в обратную полусферу ( $\varphi$ ) при заданном угле падения ( $\varepsilon$ ) может быть найден из условия распространения лучей при отражении в микросфере

$$\varphi(\varepsilon, n_1, n_2) = 4 \arcsin \left( n_1 \frac{\sin(\varepsilon)}{n_2} \right) - 2\varepsilon. \quad (3)$$

Шар обладает катадиоптрическими свойствами-параллельный пучок падающих лучей превращает в параллельный пучок отраженных лучей, если его показатель преломления  $n_2 = 2$  (при  $n_1 = 1$ , воздух).

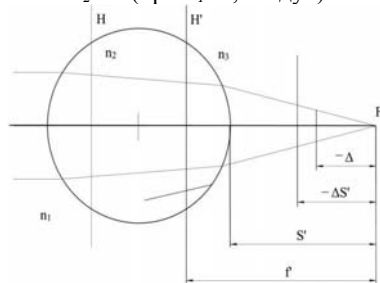


Рис. 2. Парааксиальные параметры шара:  $\Delta s$  – продольная сферическая аберрация,  $S'$  – задний фокальный отрезок

В исследуемой схеме, подобной конструкции КСВ[3], но она многослойная (рис.3).

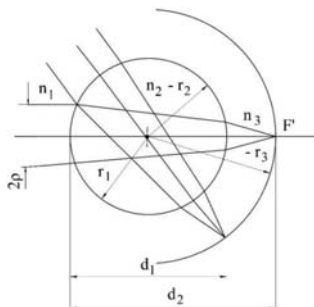


Рис. 3. Оптическая схема КСВ:  $n_1, n_2$  – показатели преломления (ПП) окружающей среды и шарика,  $n_3$  – ПП промежуточного слоя,  $2r$  – апертура падающего пучка,  $r_1, r_2$  – радиусы передней и задней поверхности (для шарика  $|r_1| = |r_2|$ ),  $r_3$  – радиус отражающей поверхности КСВ,  $F'$  – задняя фокальная точка шарика.

Для определения осевой силы света рассчитывалась сферической aberrации 3-го порядка из хода главного луча (нормировка  $\alpha_1 = 0, n_1 = 0$ ) [4], находим продольную ( $\Delta y_1$ ) и сферическую aberrацию ( $\Delta S$ ), фокусное расстояние внутри КСВ ( $F$ ), сумму Зайделя  $S_1$ , волновую aberrацию как функцию изменения  $n_3$  и  $d_2L = L(\Delta n_3, \Delta d_2)$ . Распределение интенсивности отраженного излучения описывается с помощью интеграла Френеля – Кирхгофа в приближении Фраунгофера по плоскости выходного зрачка КСВ, которая пропорциональна преобразованию Фурье распределения комплексной амплитуде отраженной волны в плоскости выходного зрачка. Переходя от пространственных частот в этой плоскости к пространственному угловому спектру находят максимальное значение индикатрисы отражения (рассеяния).

Проводились измерения оптических свойств различных по технологии СВП, некоторые экспериментальные ИР представлены на рис.4.

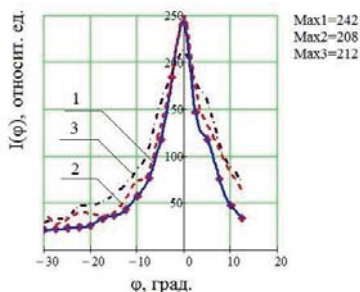


Рис.4. Индикатрисы рассеяния различных образцов:  $I(\varphi)$  – интенсивность,  $\varphi$  – угол рассеяния

Кривая 1-ИР световозвращающей пленки фирмы «3М» “алмазного типа”.

### Список литературы

1. *Старовойтов Е.И., Савчук Д.В.* Исследование и оптимизация применения уголковых отражателей для локации космических объектов / Космическая техника и технологии. №1, 2013. С.38-43.
2. *Г.В. Денисюк, В.И.Корнеев.* Дифракция Фраунгофера от уголкового отражателя с металлизированными отражающими гранями. – ОМП, 1982, №12, С.1 – 2.
3. *Л.А. Иванов, Д.В. Кизеветтер, Н.Н. Киселев, В.И. Малюгин, В.А. Слугин* Измерение световозвращения от стеклянных микрошариков и прогноз качества световозвращающих покрытий. Оптический журнал, 2006, Т. 73, №1, С.35-40.
4. *Цветков А.Д.* Катадиоптрический световозвращатель. «Оптический журнал», 78,3,2011.
5. *Солимено С., Крозиньяни Б., Ди Порто П.* Дифракция и волноводное распространение излучения. Пер.с англ., М.: 1989. – С. 664.
6. *Борн М.В., Вольф Э.* Основы оптики / Пер. с англ. - М.: Наука. - 1970. – С 885.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВОГО ХОДА ВИНТОВОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ИНСТРУМЕНТА ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Головко Александр Николаевич, Юрасов Сергей Юрьевич  
Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт  
423812, Республика Татарстан, г.Набережные Челны, пр.Сююмбике, д.10А

В докладе представлено определение зависимостей, позволяющих определить величину осевого хода винтовой режущей кромки инструмента червячного типа для чистовой обработки зубьев зубчатых колес.

Definition of the dependences allowing to determine the size of the axial course of the screw cutting edge of the tool of worm type for finish machining of teeth of gear wheels is presented in the report.

Ключевые слова: осевой ход, винтовая режущая кромка, инструмент червячного типа, чистовая обработка, зубчатое колесо.

Технология обработки зубьев зубчатых колес для редукторов, применяемых в нефтегазовой отрасли, предусматривает использование зубофрезерования, зубошевингования, термической обработки и зубохонингования.

Для чистовой обработки зубьев зубчатых колес (после операции зубофрезерования) могут применяться инструменты червячного типа со

спирально - винтовыми [1] или [2] режущими кромками, выполненными на одной боковой стороне витков. Однако недостатком этих инструментов является сложность конструкции и технологии изготовления.

Для чистовой обработки зубчатых колес (после операции зубофрезерования) весьма перспективными являются инструменты червячного типа со сплошными винтовыми режущими кромками [3] (рис. 1). Обработка производится при согласованном вращении инструмента 1 и колеса 2 (рис. 2).

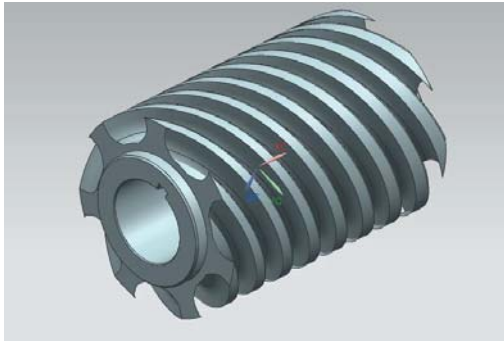


Рис. 1. Модель инструмента червячного типа со сплошными винтовыми режущими кромками

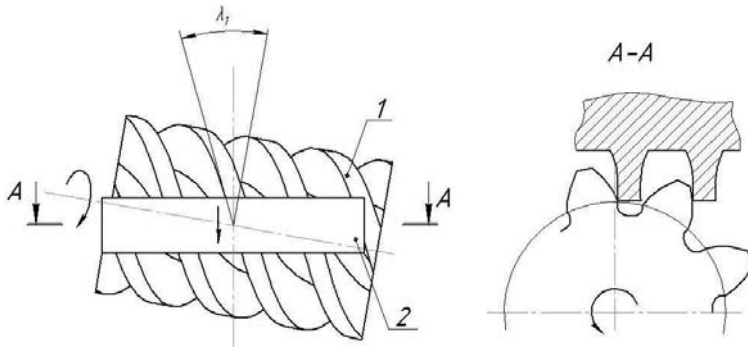


Рис. 2. Схема работы инструмента червячного типа со сплошными винтовыми режущими кромками

Угол подъема винтовой режущей кромки инструмента червячного типа на цилиндре выступов можно определить по формуле:

$$\sin \lambda_1 = \frac{p_{m1} z_1}{2\pi r_{a1}} \quad (1)$$

где  $p_{n1}$  – шаг инструмента червячного типа в нормальном сечении;

$z_1$  – число заходов инструмента червячного типа;

$r_{a1}$  – радиус окружности выступов инструмента червячного типа.

Рассматривая плоскую задачу, можно исходить из равенства шага инструмента червячного типа  $p_{n1}$  и основного шага колеса  $p_{nb2}$  в нормальном сечении:

$$p_{n1} = p_{nb2} \quad (2)$$

где величина  $p_{nb2}$  определится по известной формуле:

$$p_{nb2} = \pi m_n \cos \alpha_n \quad (3)$$

где  $m_n$  – модуль в нормальном сечении;

$\alpha_n$  – угол профиля исходного контура в нормальном сечении.

Из (2) с учетом (3) следует, что осевой ход винтовой режущей кромки  $p_{z1}$  можно рассчитать с помощью выражения:

$$p_{z1} = \frac{\pi m_n z_1 \cos \alpha_n}{\cos \lambda_1} \quad (4)$$

#### Список источников

1. А.с. 1106609 СССР, МКИ В 23 F 21/16. Инструмент для чистовой обработки зубчатых колес / С.П. Радзевич (СССР). – №100408 ; заявл. 27.09.82 ; опубл. 07.08.84, Бюл. № 29. – 2 с. : ил.

2. А.с. 1004030 СССР, МКИ В 23 F 21/16. Червячный инструмент / С.П. Радзевич (СССР). – №3277248/25-08 ; заявл. 16.04.81 ; опубл. 15.03.83, Бюл. № 10. – 2 с. : ил.

3. А.с. 1378187 СССР, МКИ В 23 F 19/00. Способ чистовой обработки эвольвентных профилей зубьев зубчатых колес / А.А. Михайлов, В.А. Комаров, В.И. Винокуров (СССР). – №4034071/08 ; заявл. 05.03.86 ; опубл. 07.03.93, Бюл. № 9. – 3 с. : ил.

4. Сморгалов Н.В. Численное моделирование поверхностей при обработке резанием. — Набережные Челны: Изд-во Камского госуд. политехн. ин-та, 2003. — 177 с.

5. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. — М.: Наука, 1968. — 584 с.

6. Kondrashov A.G., Safarov D.T., Davletshina G.K. Bit for the core drilling of nonmetals // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, No. 8. pp. 617-618.

7. Balabanov I.P., Kondrashov A.G. Shaping of cutting part of angle milling cutters with nonzero geometry // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 30, No. 12. pp. 1731–1734.

8. Ryabov E.A., Yurasov S.Yu. Creating a rigid model of solid end radius cutter in NX // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 134. 012034.

9. Krastyaninov P.M., Khusainov R.M. Selection of equipment for machining processing of parts using NX and TEAMCENTER programs // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 134. 012041.

УДК 621.9.06-529; 678+621.9.048.6.06

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕЗКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ПКМ

Грищенко Татьяна Андреевна – инженер-технолог III категории  
композитного производства ПАО ААК «ПРОГРЕСС»;

Слободчикова Юлия Станиславовна – инженер по развитию  
производственной системы ПАО ААК «ПРОГРЕСС, студентка очного  
отделения филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;

Убоженко Сергей Сергеевич – инженер по развитию производственной  
системы ПАО ААК «ПРОГРЕСС, студент очного отделения филиала ДВФУ в  
г. Арсеньеве.

Научные руководители: Денисенко Юрий Петрович – управляющий  
директор ПАО ААК «ПРОГРЕСС»; Бердиев Олег Шамильевич – заместитель  
директора филиала ДВФУ в г. Арсеньеве по НИР и развитию.

E-mail: berdiev553@mail.ru; Ивашков Михаил Юрьевич - руководитель проекта  
по реконструкции производства из ПКМ, ПАО ААК «ПРОГРЕСС».

Публичное акционерное общество

«Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина»  
(ПАО ААК «ПРОГРЕСС»), 692335, Приморский край, г. Арсеньев,  
пл. Ленина, 5

Филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный  
федеральный университет» в г. Арсеньеве ул. Островского, д. 20,  
г.Арсеньев, 692331

### Введение

В рамках принятого и действующего инвестпроекта «Техническое перевооружение (реконструкция) производства ПАО ААК “ПРОГРЕСС”. Реконструкция композитного производства» предприятие планирует освоение технологических процессов резки на ультразвуковой установке US-50 (рис. 1).

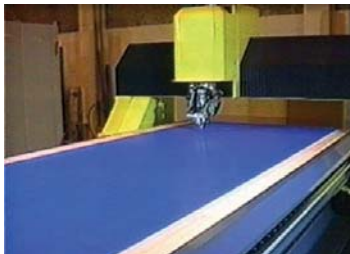


Рисунок 1. Установка ультразвуковой резки US-50. Раскройная головка.

Потребность композитного производства предприятия в установке ультразвуковой резки вызвана тем, что в данном устройстве удачно сочетается два вида обработки: раскрой препрегов из стекло-углеволокна и обработка по программе поверхностей сложной кривизны из полимерсотопластных материалов на основе бумаги типа Nomex® [1, 4, 5, 6].

Пока раскрой препрегов производится вручную, по шаблону, что негативно влияет на показатели трудоёмкости. Кроме того, ручная операция – это снижение точности раскроя и качества изготавливаемой продукции.

#### **Постановка задачи**

Известны установки, применяемые в медицинской практике для проведения полостных операций, а также в лёгкой промышленности, где в массовом производстве при раскрое ткани ультразвуковые аппараты режут по лекалу пачки заготовок «по вертикали».

Предлагается освоить серийную обработку методом ультразвукового раскроя препрега на фрагменты размером до 5,5 м для изготовления около 280 видов деталей, имеющих разную структуру, из 5 типов препрегов.

Исследованные характеристики установки ультразвуковой резки US-50 позволяют значительно ускорить процесс раскроя препрегов и обработки ПСП, что позволяет кратно увеличить рост объемов выпуска деталей из ПКМ, повысить точность изготовления деталей и снизить процент технического брака [2, 3].

Исследование применимости установки US-50 показывают реальность выполнения видов 2D и 3D обработки в зависимости от поставленной задачи. Размеры рабочей зоны для 2D обработки: 3700 мм × 1830 мм, размеры рабочей зоны для 3D обработки: 3360 мм × 1340 мм × 290 мм. Высокая частота колебаний позволяет обрабатывать без сминания даже такие мягкие материалы, как полимерный материал Номекс. Сложность обработки материала Номекс ещё и в том, что в авиастроении он применяется в виде пространственных структур (сотопластов), у которых на большой площади необходимо обработать торцевую часть и придать ей сложную форму двойной кривизны.

Целью работы является выработка технических рекомендаций производственному персоналу, обучение этого персонала, подготовка управляющих программ, выработка методики закрепления обрабатываемых блоков ПСП на поверхности стола установки.

Установка ультразвуковой резки работает по трем основным направлениям: 2D раскрой препрега с использованием тангенциальных режущих пластин, 3D обработка блоков ПСП с использованием тангенциальных режущих пластин и 3D обработка блоков ПСП с использованием ультразвукового дискового ножа.

В установку интегрирована система подготовки раскладок, позволяющая оптимально использовать исходный материал и уменьшить количество отходов. Для этого 2D файлы из САД системы импортируются в систему подготовки раскладок и оптимально распределяются по площади препрега (рисунок 2).



С использованием ультразвуковых режущих пластин может также производиться обработка блоков ПСП для предварительной подготовки к дальнейшему использованию (рисунок 3), либо для получения деталей простой формы (рисунки 4, 5).

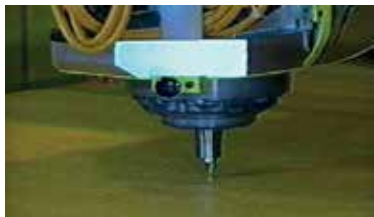


Рисунок 2. Ультразвуковой раскрой препрега с использованием системы раскладок.



Рисунок 3. Предварительная обработка блока ПСП с использованием режущих пластин. раскладок.

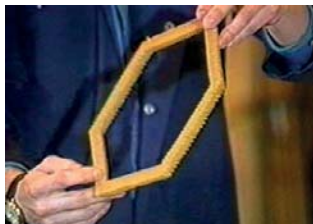


Рисунок 4. Деталь из ПСП полученная с использованием режущих пластин. раскладок



Рисунок 5. из ПСП полученная с использованием режущих пластин. раскладок.

Схема 3D обработки блоков ПСП с использованием ультразвукового дискового ножа показана на рисунке 6.

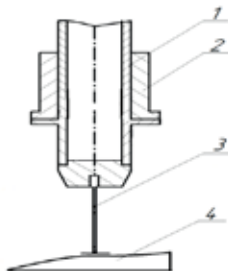


Рисунок 6. Схема ультразвуковой обработки ПСП раскладок.  
1 – ультразвуковой блок; 2 – оправка; 3 – ультразвуковой дисковый нож;  
4 – блок ПСП (подстилающая поверхность условно не показана).

Такая обработка используется для получения деталей с поверхностью сложной кривизны (рисунок 7).

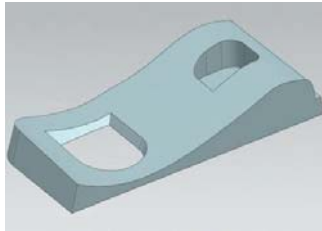


Рисунок 7. Деталь сложной кривизны из ПСП. раскладок.

Таким образом, после раскроя и обработки система распределения материала учитывает форму заготовки, благодаря чему достигается оптимальное использование материала и экономичный режим работы, снижение производственных расходов, сокращение времени и стоимости работы.

Освоение и развитие процессов ультразвуковой резки позволяют надеяться на значительное уменьшение цикла раскроя, подбора и сборки комплектов деталей из ПКМ, резки ПСП и повышение качества данной работы.

В настоящее время ведется работа по приобретению установки ультразвуковой резки US-50, подбору номенклатуры деталей для обработки на данном комплексе, подготовки материалов для обучения персонала и выдачи технологических рекомендаций производству, а также приобретению и внедрению программного обеспечения для выполнения послойной раскладки деталей из ПКМ. Проведение исследования позволит не только внедрить в производственный цикл установку ультразвуковой резки, но и увеличить автоматизацию процесса сборки деталей из ПКМ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грищенко Т.А., Рябкова Н.М., Тарабанова В.В., Речицкий В.А., научные руководители Денисенко Ю.П., Бердиев О.Ш. Применение гидроабразивной резки при обработке деталей из ПКМ // Проблемы и перспективы развития малых городов Приморского края [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-практической конференции, Дальнегорск, 22 апреля 2016 г. / Дальневосточный федеральный университет ; под общ.ред. Н.В. Лисичкиной. Электрон.дан. Владивосток :Дальневост. федерал.ун-т, 2016. с. 70-75. Режим доступа: [https://www.dvfu.ru/science/student\\_scientific\\_life/proceedings-of-student-activities/](https://www.dvfu.ru/science/student_scientific_life/proceedings-of-student-activities/). (дата обращения: 24.06.2016).– Загл. с экр. ISBN 978-5-7444-3813-5.

2. Рябкова Н.М., Грищенко Т.А., научные руководители Денисенко Ю.П., Бердиев О.Ш. Технология изготовления формообразующей оснастки для крупногабаритных композитных панелей на авиапредприятии // Вестник

Инженерной школы Дальневост. Федерал.ун-та. 2014. № 4 (21). с.50-53 URL: <http://vestnikis.dvfu.ru/vestnik/2014/4/11/>

3. Способ изготовления многослойных конструкционных панелей: пат.2508496 Рос. Федерация: МПК F16S 1/00 B32B 1/00 Ю.Ф. Огнев, О.Ш. Бердиев. № 2013101394/06; заявл. 10.01.2013; опубл. 27.02.2014, Бюл. № 6.

4. Способ изготовления композиционных силовых панелей : пат. 2579779 Рос. Федерация: МПК В 32 В 1/00, F 16 S 1/00 / В.И. Сергиенко, Ю.П. Денисенко, В.Г. Добржанский, Ю.Ф. Огнев, О.Ш. Бердиев. – № 2014135941/06; заявл. 02.09.14; опубл. 10.04.16. – 10 с. : ил.

5. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. Кн.1 / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.: ил.

6. Investigation of metal's corrosion resistance in these sea climate conditions /Sergienko V.I., Denisenko Y.P., Dobrzhansky V.G., Ognev Y.F., Berdiev O.Sh., Dushina N. E. //Современные технологии и развитие политехнического образования [Электронный ресурс]: С56 Международная научная конференция, г. Владивосток, 14-18 сентября 2015 г. //Дальневост. федерал.ун-т; отв. ред.: А.Т. Беккер, В.И. Петухов; [ред. кол. А.В. Андреев, А.В. Белов и др.]. – Электрон. Дан. – Владивосток: Дальневост. федерал.ун-т, 2015. – Режим доступа: <http://www.dvfu.ru/web/dpd/katalog>. – Загл. с экр.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СТАЛИ 35 В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВА ПОСЛЕ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ**

Дегтярева А.Г, Симонов В.Н., МГТУ, им. Н.Э.Баумана, г.Москва, 2-я Бауманская ул. д.5, стр.1

Аннотация: Проведен сравнительный анализ микротвердости стали 35 после стандартной закалки и деформирующего резания. Обнаружены особенности поведения упрочненной поверхности при низком отпуске. Выявлена разница в затрате энергии на нагрев образцов после стандартной закалки и деформирующего резания.

Conducted a comparative analysis of microhardness of steel 35 after standard hardening and deforming cutting. Discovered features in the behavior of hardened surface under low vacation. Identified the difference in energy for heating the samples after standard hardening and deforming cutting.

Ключевые слова: деформирующее резание, оребренная поверхность, тепловой эффект, дилатометрическая кривая.

Введение: Деформирующее резание (ДР) относится к технологиям механо-термической обработки материалов [1]. Основная идея использования тепловыделения процесса ДР для формирования закаленных структур на рабочей поверхности детали предложена профессором Зубковым Н.Н.

Отличительной особенностью метода является использование стандартного металлорежущего оборудования и простого инструмента.

Технология ДР является безотходной, образуемая при резании стружка не отделяется от заготовки, а сохраняет с ней связь по своей узкой стороне [2].

Методика проведения исследований:

-металлографический анализ проводили на микроскопе Olympus GX51 с увеличением 500 крат;

-измерение микротвердости образцов с нагрузкой 100гр проводили на автоматическом микротвердомере EMCО•TEST DuraScan 70 по схеме указанной на рис.2

- дилатометрический анализ выполняли на дилатометре DIL-402С производства фирмы «Netzsch» (Германия). Температура измерялась платина-платинородиевой термопарой с погрешностью не более 5°С.

Обсуждение результатов эксперимента:

Структура поверхности после обработки ДР представляет собой наклонные ребра без зазора и описана в работе [3]. Установлено, что при обработке ДР температура нагрева от трения и пластического деформирования превышает критические, а быстрый отвода тепла в сердцевину приводит к закалке.

На рисунке 1 показан вал после обработки ДР, наличие на поверхности сине-голубого цвета побежалости, соответствует окисной пленке 0,65 мкм, появляющейся в сталях при температуре 250°С, что является остаточным проявлением исходных высоких температур нагрева зоны обработки.

Микроструктура оребренной поверхности и схема измерения микротвердости представлены на рисунке 2.



Рис.1 Вал после обработки ДР

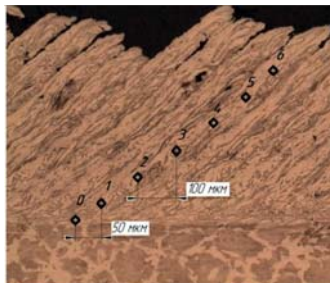


Рис.2 Микроструктура и схема измерения микротвердости оребренной поверхности

Среднее значение микротвердости в ребрах составляет 650 HV<sub>0,1</sub>, что несколько выше ( на 50 HV<sub>0,1</sub>), чем после стандартной закалки 860 °С, с охлаждением в воде ( рисунок 3).

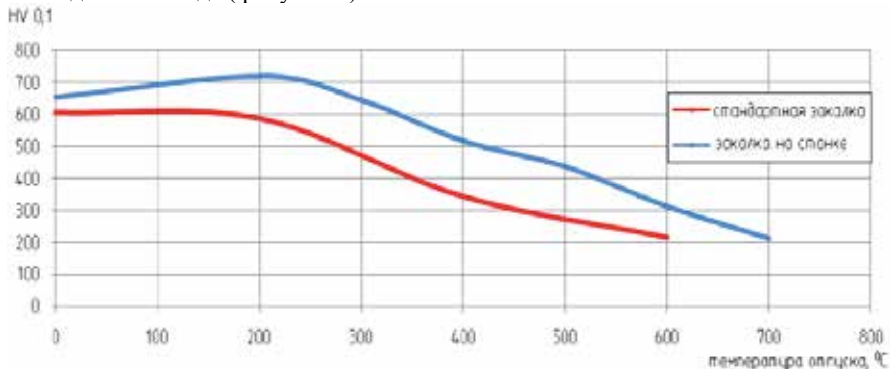
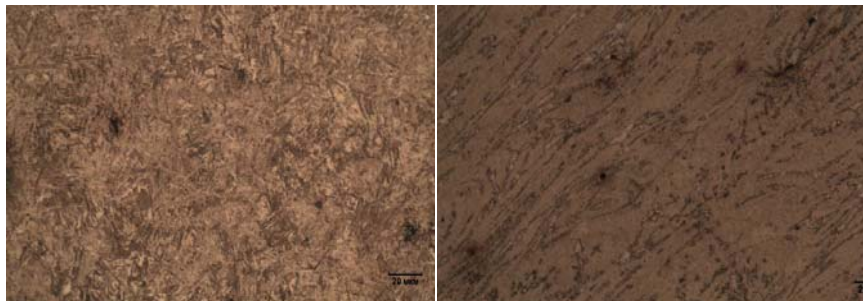


Рис.3 Влияние температуры нагрева на твердость стали 35 после ДР (закалка на станке) и стандартной закалки.

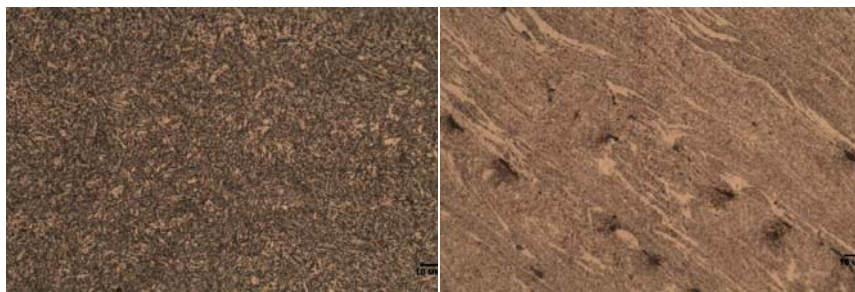
Нагрев до температуры 200°C приводит к увеличению микротвердости до 720 HV<sub>0,1</sub> в образце с оребренной структурой, в то время, как у образца с классической закалкой твердость сохраняется в районе 600 HV<sub>0,1</sub>. Данный факт можно объяснить выделением ε-карбидов, когерентных с матрицей и распадом незначительного количества остаточного аустенита. Явных изменений в структуре при нагреве 200 не выявлено.

Микроструктуры после обработки ДР и стандартной закалки и последующего отпуска при температуре 600°C представлены на рисунке 4. Анализ структуры указывает на дисперсное строение продуктов распада мартенсита после ДР.



Закалка 860°C, вода

Обработка ДР



Закалка 860°C, вода + отпуск 600°C

Обработка ДР+отпуск 600°C

Рис.4 Микроструктуры при увеличении  $\times 500$ 

В результате нагрева образца после обработки ДР на dilatометре, наблюдаем следующие закономерности: появление экстремума с выделением тепла при температуре порядка 250-270°C связано с распадом  $A_{ост}$  и образованием мелкодисперсных карбидов. Дальнейший нагрев в интервале температур от 300°C до  $A_{с1}$  требует дополнительной затраты энергии, это выражено в монотонном наклоне dilatометрической кривой (рисунок 5). Природа такого поведения металла при нагреве еще не установлена.

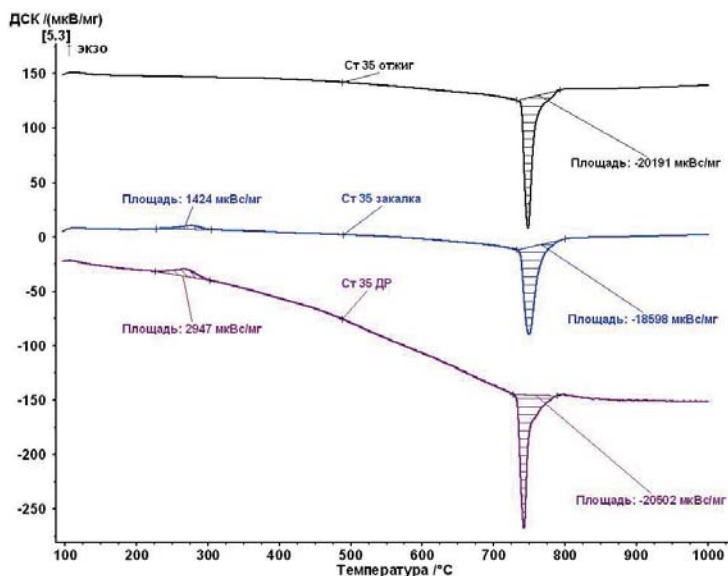


Рис.5 Вид dilatометрических кривых стали 35 для различных видов обработки

**Выводы:**

- 1) тепловой эффект при нагреве 250°C-270°C образца после ДР в 2 раза больше, по сравнению с образцом после стандартной закалки;
- 2) нагрев от 300°C до  $A_{c1}$  требует различных затрат энергии для образцов после ДР и стандартной закалки.

**Список литературы:**

1. Патент 2044606 РФ. Способ получения поверхностей с чередующимися выступами и впадинами и инструмент для его реализации / Зубков Н.Н., Овчинников А.И (РФ).- Оpubл.13.06.94 г. Бюл. N 27, 1994.
2. Зубков Н.Н. Особенности реализации метода деформирующего резания. // Технология машиностроения.– 2001.–№1.– С.19-26.
3. Дегтярева А.Г., Попцов В.В., Симонов В.Н., Васильев С.Г., Варламова С.Б. Формирование закаленных структур в стали 35 методом деформирующего резания // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 9. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/725672.html> (дата обращения 22.10.16)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ ТЭК**

Долгова А.Н., Казанков А.А., Аминов Б.А., Шайхутдинов И.З., Гайнуллин И.И.,  
Зиятдинов Р.В.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

*Аннотация.* Рассмотрены контактные устройства насадочных тепломасообменных аппаратов. Показаны экспериментальные данные гидродинамических режимов работы насадочной колонны с насадкой из колец Рашига, «Инжехим» и нового контактного устройства на лабораторном стенде кафедры ЭЭ ФГБОУ ВО «КГЭУ». Рассмотрены пути энергосбережения при аминовой очистки газа на ООО «СафПЭТ».

*Annotation.* Considered contact device Packed teplomassoobmen devices. Are shown experimental data of the hydrodynamic modes of a Packed column with a nozzle of Raschig rings, "Inzhekhim" and the new contact device on a laboratory bench of the Department of EE of the "Kazan state power engineering University". The ways of energy saving in amine treatment of gas, ООО "SafPET".

*Ключевые слова:* контактное устройство, энергосбережение, насадка, повышение эффективности.

На сегодняшний день массообменные колонные аппараты с использованием насадочных контактных устройств находят весьма широкое применение на предприятиях ТЭК. В основу организации большинства

промышленных теплообменных процессов, таких, как абсорбция и ректификация легли такие подходы, как развитие поверхности контакта жидкости и газа, увеличение скорости движения одной фазы относительно другой.

Одним из основных методов энерго- и ресурсосбережения для процессов абсорбции и ректификации является внедрение высокоэффективных контактных устройств, которые обеспечивают значительное снижение гидравлического сопротивления колонн и расход энергии на подачу газов, жидкостей и паров. Данное направление имеет значительные перспективы, так как позволяет с помощью небольших капитальных вложений и в сжатые сроки добиться снижения энергозатрат на единицу продукции [1,2].

Стремление к созданию аппаратов большой единичной мощности с повышенными нагрузками по газу и жидкости и развитие вакуумной ректификации высококипящих продуктов, обусловило в последние годы тенденцию к возрастанию использования насадочных контактных устройств и совершенствованию их конструкций. Наибольшее распространение в промышленности получили кольца Рашига [3].

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления насадки кольца Рашига с размерами 20x20x2 мм приведены на рис.1. Полученные экспериментальные кривые характеризуют изменение параметра  $\Delta p$  (гидравлического сопротивления) от скорости газа до достижения скорости захлебывания насадки при различной плотности орошения. Исследования проводились на лабораторном стенде каф. ЭЭ ФГБОУ ВО «КГЭУ» «Тепломассообменная колонна» диаметром 100 мм на модельной системе «воздух-вода».

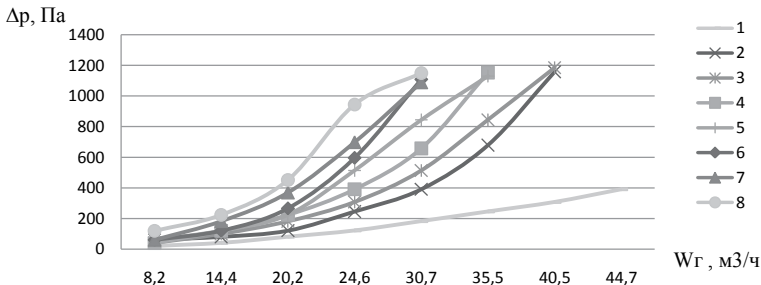


Рис 1. Зависимость гидравлического сопротивления насадки «кольца Рашига» от скорости газа в колонне при постоянной плотности орошения: 1 – сухая насадка ( $q=0$  л/ч); 2-9 – орошаемая насадка; 2 –  $q=50$  л/ч; 3 –  $q=85$  л/ч; 4 –  $q=115$  л/ч; 5 –  $q=150$  л/ч; 6 –  $q=180$  л/ч; 7 –  $q=210$  л/ч; 8 –  $q=240$  л/ч

Проведены экспериментальные исследования гидродинамических режимов работы насадки «Инжехим» [1]. Зависимость гидравлического сопротивления насадки от скорости газа в колонне при постоянной плотности орошения показана на рисунке 2.



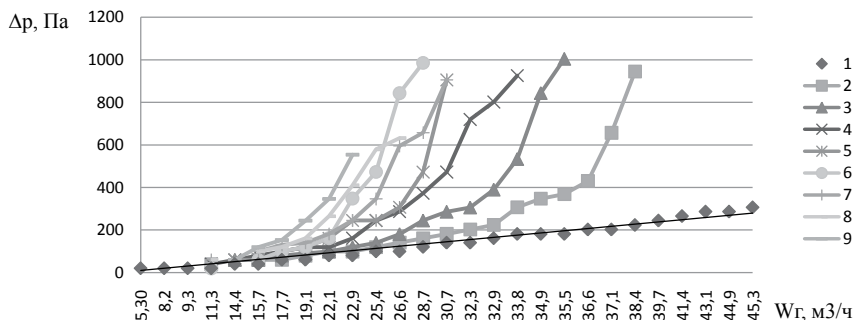


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления насадки от скорости газа в колонне при постоянной плотности орошения: 1 – сухая насадка ( $q=0$  л/ч); 2-9 – орошаемая насадка; 2 –  $q=50$  л/ч; 3 –  $q=85$  л/ч; 4 –  $q=115$  л/ч; 5 –  $q=150$  л/ч; 6 –  $q=180$  л/ч; 7 –  $q=210$  л/ч; 8 –  $q=255$  л/ч; 9 –  $q=280$  л/ч

При создании насадок новых типов ставятся следующие цели: во-первых, увеличение эффективности массообменного процесса, во-вторых, расширение интервала устойчивой работы аппарата (как по нижнему, так и по верхнему пределам). Для достижения указанных целей насадки должны удовлетворять следующими технологическими требованиями: высокая эффективность (то есть стремление к более низкому значению ВЭТТ, к более высоким значениям коэффициентов массопередачи и степени извлечения); низкое гидравлическое сопротивление; высокая пропускная способность; малая удерживающая способность; простота монтажа в колонну.

Для выполнения этих требований насадка должна иметь, в первую очередь, по возможности высокую долю свободного объема и развитую геометрическую поверхность. Одновременно конструкция насадки должна обеспечивать наиболее полное омывание всей поверхности контактирующими потоками [1].

С учетом описанных требований, было разработано новое насадочное контактное устройство. Основами новой конструкции насадки являются известные и широко распространенные насадки – кольца Рашига и пропеллерная насадка (рис.3).



Рис.3. Виды конструкций насадок: а– кольца Рашига; б–пропеллерная насадка[2]

Характеристика новой насадки: размер элемента  $D - 30$  мм; толщина материала – 2 мм; количество элементов в  $m^3 - 75000$  шт; удельная поверхность –  $332 m^2/m^3$ ; свободный объём –  $0,928 m^3/m^3$ ; эквивалентный диаметр – 11 мм.

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления новой насадки приведены на рис.4.

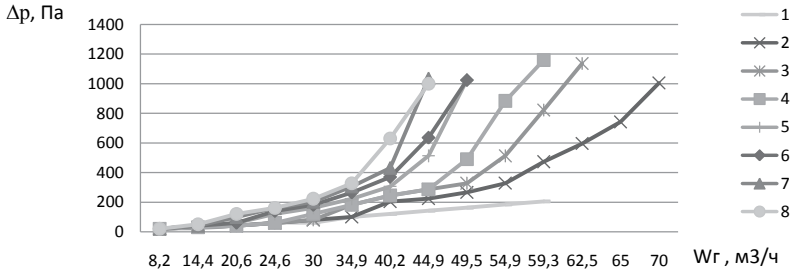


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления новой насадки от скорости газа в колонне при постоянной плотности орошения: 1 – сухая насадка ( $q=0$  л/ч); 2-9 – орошаемая насадка; 2 –  $q=50$  л/ч; 3 –  $q=85$  л/ч; 4 –  $q=115$  л/ч; 5 –  $q=150$  л/ч; 6 –  $q=180$  л/ч; 7 –  $q=210$  л/ч; 8 –  $q=240$  л/ч

По представленным экспериментальным данным видно, что диапазон устойчивой работы у новой насадки выше, в сравнении с кольцами Рашига ориентировочно на 15-30%.

Одной из организаций, входящих в ТЭК является ООО «СафПЭТ». Производство элементарной серы в данной организации состоит из установок абсорбции и регенерации аминов, отпарки кислых стоков, а также узлов, хранения, гранулирования и отгрузки серы. Важное значение для обеспечения энергетической безопасности на данном предприятии имеет безаварийная работа и техногенная безопасность промышленных объектов. Один из главных факторов риска – высокая изношенность технологического оборудования, и устаревшие способы абсорбционной очистки газа. На рисунке 4 показана принципиальная схема аминовой очистки газа.

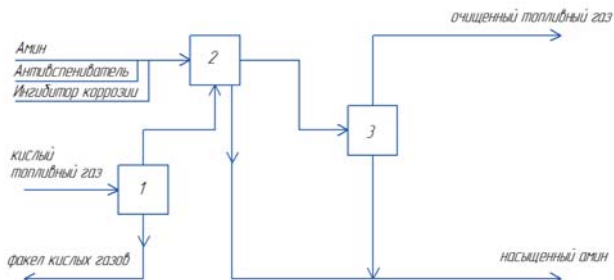


Рис.4. Принципиальная схема аминовой очистки газа: 1-сепаратор; 2-абсорбер; 3-рефлюксная емкость

Повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции и снижение энергозатрат возможно двумя путями: разработкой новых технологий и аппаратного оформления технологического процесса или модернизацией действующих установок и производств. Второй путь характеризуется меньшими материальными затратами и сроками выполнения работ.

В связи с этим исследование и использование на установках предприятия получения серы новых энергосберегающих контактных устройств является актуальным. Модернизация контактных устройств в установках производства на более эффективные, позволит снизить энергозатраты в несколько раз.

### Литература

1. Лаптев А.Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии: монография / А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов, Н.Г. Минеев. – Казань: КГЭУ, 2010. – 574 с.

2. Долгова А.Н. Энергосбережение на установках осушки и разделения углеводородных газов предприятий ТЭК: дисс. канд. техн. наук: Казань, КГЭУ, 2013. – 193 с.

3. Кольца Рашига RING –R [Электронный ресурс]. – // [http://www.bts.net.ua/column/packings/packing\\_rasching/ring\\_rashig](http://www.bts.net.ua/column/packings/packing_rasching/ring_rashig).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ СТЕКЛОНАПОЛНЕННОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА, ПРИМЕНЯЕМОГО В МАШИНОСТРОЕНИИ

Егорова Виктория Евгеньевна, НЧИ КФУ, Nika29.94@yandex.ru  
Хабибова Регина Рафаиловна, НЧИ КФУ, regina\_16-94@mail.ru

*Аннотация: современное машиностроение предъявляет высокие требования к уровню шума в салоне автомобиля или кабине КАМАЗа. Эффективным средством борьбы с шумом является использование звукопоглощающих материалов, производимых автомобильной промышленностью. Для повышения звукопоглощающей способности материалов и конструкций применяют стеклонаполненные пенополиуретаны (ППУ), полученные по технологии Fiber Composite Spraying.*

*Abstract: modern engineering makes high demands to the noise level in the passenger compartment or cabin of KAMAZ. An effective means of dealing with noise is to use sound absorbing materials produced by the automotive industry. To increase sound-absorbing capacity of materials and structures using glass fibre reinforced polyurethane foams (PUF) obtained by the technology Fiber Composite Spraying.*

*Ключевые слова: звукопоглощение, стеклонаполненный, шум, машиностроение.*

Одним из перспективных направлений развития машиностроения является разработка и изготовление звукопоглощающих материалов и изделий. Современное производство предъявляет высокие требования к снижению уровня фонового шума, создаваемого узлами и агрегатами: двигателя, трансмиссии, подвески, рулевого управления и т.д.

С позиции физиологии и экологии человека шум – это звуковой раздражитель, который в целом характеризуется сочетанием различных по интенсивности и частоте компонентов. Шум служит фактором сенсорной, информативной перегрузки и является типичным стресс-фактором. Акустический дискомфорт отрицательно сказывается на самочувствии и работоспособности людей [1]. Уровни звука в кабине грузовых автомобилей не должны превышать 70 дБА, а в кабине легковых автомобилей и автобусов не должны превышать 60 дБА [2]. Повышенный уровень шума пагубно влияет на здоровье людей, приводит к росту профессиональных заболеваний (глухота, вибробольнь и т.д.), повышает вероятность сердечнососудистых заболеваний. В этой связи борьба с шумом, создаваемым оборудованием, является актуальной практической задачей. Для борьбы с шумом в кабине автомобиля наиболее часто используют глушители, тепло-шумоизоляционные экраны.

В качестве звукопоглощающих машиностроительных материалов широкое распространение получили пенополиуретановые композиционные материалы (КМ), которые обладают высоким коэффициентом звукопоглощения, низким удельным весом, прочностью и теплопроводностью, но испытания на звукопоглощения материалы не проходили.

В этой связи исследования звукопоглощающих свойств стеклонаполненных пенополиуретановых материалов представляет собой актуальную материаловедческую задачу.

Экспериментальные исследования звукопоглощающих свойств проводились на стеклонаполненных пенополиуретановых материалах, состоящих из полиуретановой системы на основе полиольного компонента А (SPECFLEX 753) и изоцианатного компонента Б (SPECFLEX 138) в соотношении компонентов А : Б - 1,8:1 [3]. В качестве наполнителя использовался стеклоровинг марки EDR 24-2400-386 (2400 tex) [4] в количестве 25 масс.ч. на 100 масс.ч. матричного компонента. Изделия из стеклонаполненного полиуретана изготавливались по инновационной технологии «FiberCompositeSpraying» (FCS) [5]. В качестве основного технологического оборудования для производства изделий использовали: робот ABB 721 68; заливочную машину KraussMaffei; пресс SIEMAG.

Проводили испытания четырех деталей из стеклонаполненного ППУ:

- № 1, 2, 3 - толщиной 2 мм;
- № 4 - 5 мм;

Коэффициент звукопоглощения определяли на акустической трубе Кундта типа 4206 фирмы «Брюль и Кьер» по ГОСТ 16297-80 «Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний» [6]. Проводили по три измерения  $K_z$  образцов деталей 1-4. Результаты испытаний представлены на рис. 1-4.

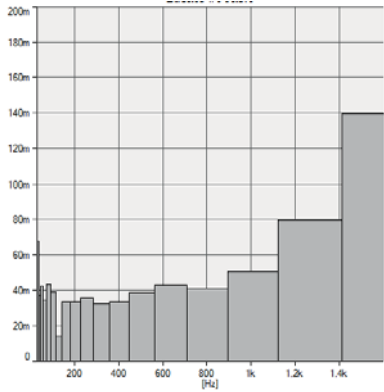


Рисунок 1 – Кз детали №1

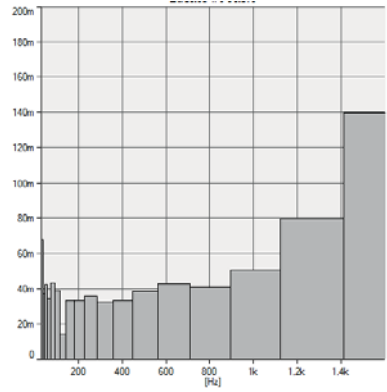


Рисунок 2 – Кз детали №2

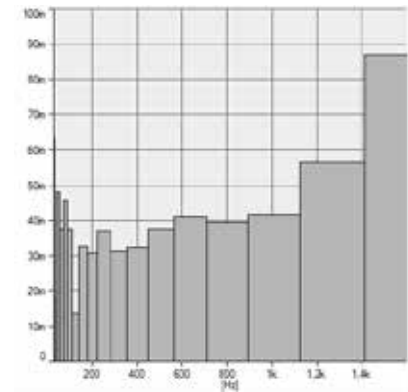


Рисунок 3 – Кз детали №3

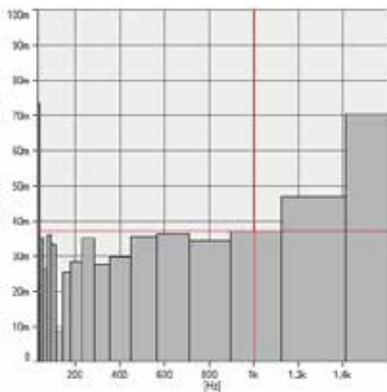


Рисунок 4 – Кз детали №4

Образцы имеют низкий Кз в исследуемом частотном диапазоне, максимальные Кз достигаются в среднечастотном диапазоне - 1600 Гц.

Анализ полученных данных показал удовлетворительные звукопоглощающие свойства стеклонаполненных пенополиуретанов.

### Литература

1. Кочергина К.А., Гармонов С.Ю., Мавлеев А.И., Кочергин А.В. Система сохранения полезной информации и защиты слуха человека на производстве // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №7. С.162-170.
2. Санитарные нормы 4616-88 «Санитарные правила по гигиене труда водителей автомобилей»

3. Интернет-ресурс: <http://www.dow-izolan.com/ru/products/> (Дата обращения: 06.07.2016)
4. Интернет-ресурс: <http://poly-tex.ru/fiberglass/glass-roving/> (Дата обращения: 06.07.2016)
5. Интернет-ресурс: <http://www.kraussmaffei.com/ru/home.html> (Дата обращения: 06.07.2016)
6. ГОСТ 16297-80. Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний (взамен ГОСТ 16297-70); Введен с 01.01.1981. - М.: Изд-во стандартов, 1980.

УДК 621.785.363

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Западнава Елена Александровна, Швеева Татьяна Владимировна,  
Западнава Надежда Николаевна, Мухаметзянова Гульнара Фагимовна,  
Халиков Ильдар Наильевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423812, г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А

**Аннотация.** Исследованы структура и свойства микролегированной улучшаемой стали охлажденной в различных условиях после завершения горячей пластической деформации. Предложены технологические решения для реализации ковочного тепла с получением необходимого уровня механических свойств стальных изделий. Получены положительные результаты на опытной партии деталей из стали марки 38Г2АЮФ, микролегированной азотом, ванадием и алюминием.

**Ключевые слова.** Сталь, микролегирование, свойства, контролируемаяковка.

**Abstract:** The structure and the properties of cooled in different conditions after hot plastic deformation micro-alloyed steel were investigated. Technological solutions for the forging heat with obtaining the required level of mechanical properties of steel products implementation were proposed. Positive results on pilot batches of parts from nitrogen, vanadium and aluminum micro-alloyed steel grade 38G2AUF, were obtained.

**Key words:** Steel, microalloying, properties, controlled forging.

Области применения микролегированных сталей для деталей различного функционального назначения постоянно увеличиваются [1-3]. Микролегирование повышает свойства стальных изделий, благодаря введению в состав сплава малых добавок элементов или их соединений, которые способствуют формированию упрочняющих фаз с резко ограниченной растворимостью последних в  $\alpha$ - $\gamma$ -растворах. Надёжность и долговечность

металлоизделий в эксплуатации обеспечивается за счёт высокого уровня прочностных и пластических свойств используемых сталей. Кроме экономии дорогостоящих легирующих элементов эти стали обладают рядом преимуществ перед традиционными стандартизированными сталями. Наилучший комплекс механических свойств достигается у сталей с микроструктурой, представляющей мелкодисперсную феррито-карбидную смесь – сорбит. В формировании структурного состояния сталей принимают участие многочисленные факторы и в отдельных случаях в микроструктуре, наряду с сорбитом, присутствуют нежелательные включения феррита, как в виде отдельных зёрен, так и в виде сетки по границам зёрен.

Необходимость разработки и применения микролегированных сталей в машиностроении заключается в решении одной из «нестареющих» проблем – это реализация остаточного ковочного тепла полуфабрикатов для их термической обработки. Особенно это актуально для тех случаев, когда структура и свойства, сформированные в полуфабрикатах, передаются готовым изделиям и тем самым определяют их надёжность и долговечность в эксплуатации. Однако трудность в реализации такого тепла для термообработки изделий заключается в неизбежном росте зерна в традиционных сталях при высокотемпературном (~1220°C) нагреве заготовок под горячую пластическую деформацию и, как правило, наследовании крупнозернистого строения поковками (штамповками)[4]. В таблице 1 представлено влияние температуры нагрева на рост зерна в микролегированных и традиционных конструкционных сталях, используемых для изготовления деталей машин.

В сталях, микролегированных ванадием, алюминием и азотом, наблюдается незначительный рост зерна даже при температурах проведения горячей пластической деформации (1100–1250°C). Высокая сопротивляемость таких сталей к перегреву связана с образованием нитридов алюминия и нитридов ванадия, которые располагаются по границам зёрен и препятствуют их росту[5-6]. Этот эффект сохранения мелкозернистого строения в горячедеформированных изделиях исключает необходимость в последующем повторного нагрева стали выше критической температуры, предназначенной для перекристаллизации, а соответственно дает возможность исключить операцию аустенитизации при термической обработке.

Таблица 1 – Изменение величины зерна (мкм) в сталях при нагреве до различных температур.

Марка стали	Температура нагрева, °C				
	800	900	1000	1100	1300
18ХГТ	22	22	22	60	250
18ХГР*	25	25	34	74	-
15ХГН2ТА	22	22	65	-	-
38Г2АЮФ	9	9	11	15	31

\*Микролегирование азотом (0,012%) и ниобием (0,005%).

Исследования, выполненные на стали микролегированной ванадием и азотом показали существенную роль ферритной составляющей в формировании свойств сплава и, в первую очередь, её влияние на пластические характеристики и ударную вязкость (табл. 2). В случаях присутствия сплошной или разорванной ферритной сетки, располагающейся по границам зерна снижения этих характеристик свойств наблюдается в большей степени, чем у стали с наличием единичных зёрен феррита.

Полученные результаты исследования на микролегированной стали показали идентичность со сталями традиционных составов в части негативного присутствия в микроструктуре ферритной составляющей при сорбитной основе.

Вышеизложенные результаты исследования показывают, что для реализации остаточного кованного тепла в металлоизделиях для их термической обработки, необходимым условием является применение сталей, микролегированных в комплексе алюминием, ванадием и азотом с обязательным исключением в микроструктуре ферритной составляющей.

Таблица 2 – Микроструктура и свойства микролегированной стали 38Г2АФ (после отпуска при 620°C).

Условия охлаждения после штамповки	Микроструктура после отпуска	Твердость, НВ	Содержание феррита, %	Показатели механических свойств				
				$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\varepsilon$ , %	$\Psi$ , %	$a_n$ , Дж/см <sup>2</sup>
Водо-воздушная смесь	Сорбит	266	0	858	682	24,5	60,0	131,0
Сжатый воздух	Сорбит + Феррит (единичные зерна)	255	8,4	810	636	19,8	56,2	103,0
Спокойный воздух	Сорбит + Феррит (в виде сетки)	285	8,6	960	740	17,0	44,5	59,5
Воздух от вентилятора	Сорбит + Феррит (в виде разорванной сетки)	280	6,3	910	715	18,2	51,5	64,0

Апробирование рекомендованных параметров охлаждения поковок шатуна двигателя внутреннего сгорания из микролегированной стали подтвердило правильность такого решения. После завершения горячей объемной штамповки поковок охлаждались водо-воздушной смесью, что позволило достичь необходимую скорость охлаждения (более 23°C/сек) во всех точках сечения изделия. В микроструктуре стальных поковок феррит отсутствовал, размер зерна соответствовал 8-9 баллу ГОСТ 5639-65. Отпуск при 620°C обеспечил получение мелкодисперсной феррито-карбидной смеси (сорбит) с высоким



уровнем не только прочностных свойств, но и пластичности, а ударная вязкость при комнатной температуре составляла от 130 Дж/м<sup>2</sup> и более.

#### **Выводы.**

1. Микрولةгированные стали с нитридным упрочнением обладают высокой сопротивляемостью к росту зерна при нагреве и сохраняют мелкозернистое строение при температурах горячей пластической деформации.

2. Показано негативное влияние феррита на пластичность и ударную вязкость улучшаемой микрولةгированной стали.

3. Установлена возможность реализации остаточного кованного тепла поковок из микрولةгированной стали для их термической обработки. Необходимое условие – обеспечение охлаждения поковок после штамповки со скоростью более 23°С/сек.

#### **Литература.**

1. Браун М. П. Микрولةгированная сталь/М. П. Браун. – Киев.: Наукова Думка, 1982. – 303с.

2. Меськин В.С. Основы легирования стали / В.С. Меськин – М.: Металлургия, 1964. – 684 с.

3. Бокштейн С.В. Структура и механические свойства легированной стали /С.В. Богштейн – М.:Металлургиздат, 1954. – 278 с.

4. Астащенко В. И. Контроль качества и наследственность строения стали при технологическом металлопеределе/В.И. Астащенко, А.И. Швейв, Т.В. Швейва – М.: Academia, 2011. – 239 С.

5. Металловедение и термическая обработка стали: Справ.изд. в 3х томах. Т2. Основы термической обработки /Под ред. Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.

6. Контроль качества термической обработки полуфабрикатов и деталей: Справочник/Под общ ред. В.Д. Кальнера. – М.: Машиностроение, 1984. – 384с.

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ**

Звездин Валерий Васильевич, Саубанов Рузиль Рашитович,  
Рахимов Радик Рафисович

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

Спирин Алексей Александрович

ООО «Форд Соллерс Холдинг», Набережные Челны.

e-mail: rafisih88@mail.ru, irmaris@yandex.ru

***Аннотация.** Изложены особенности формирования прецизионного сварного шва металлов. Показано, что качество технологического процесса сварки зависит не только от энергетических характеристик лазерного*

технологического комплекса, температуры поверхностного слоя, но и от точности позиционирования фокуса лазерного излучения относительно стыка и поверхности детали. Поэтому оценкой качества технологического процесса сварки выступает точность позиционирования фокуса лазерного излучения. Данный подход позволяет построить систему автоматизированного управления лазерным технологическим комплексом со стабилизацией заданного значения точности позиционирования лазерного луча относительно поверхности детали.

**Abstract.** *It sets out the precise features of the formation of the weld metal joint. It has been shown that the quality of the welding process depends not only on the energy characteristics of the laser processing facility, the temperature of the surface layer, but also on the accuracy of positioning relative to the laser focus and the workpiece surface interface. Therefore, assessment of the quality of the welding process performs positioning accuracy laser focus. This approach allows you to build a system of automated control of the laser technological complex with the stabilization of the setpoint accuracy of the positioning of the laser beam relative to the workpiece surface.*

**Ключевые слова:** *лазерная сварка, энергетические потери, показатели качества, зона термического воздействия, точность позиционирования.*

**Введение.** Наиболее перспективным методом сварки является лазерная сварка. Лазерная сварка осуществляется путем местного расплавления и последующей кристаллизации металлов по их стыковым поверхностям, в результате чего возникает прочное сцепление на межатомном взаимодействии свариваемых деталей [1].

Автоматизация процесса лазерной сварки деталей в машиностроении позволяет повысить эффективность технологического процесса (ТП). Наиболее целесообразным является разработка системы автоматического управления (САУ) лазерными технологическими комплексами (ЛТК) со стабилизацией и оптимизацией энергетических и временных характеристик для получения требуемых выходных параметров ТП [2].

В состав информационного обеспечения САУ включают модели отдельных динамических модулей, а также модели воздействующих на них сигналов и шумов. Это требует наличия адекватных математических моделей ТП на основе экспериментальных данных. Однако из-за сложности физических процессов, протекающих при лазерной сварке металлов, они не дают полной картины происходящих явлений в зоне воздействия лазерного излучения (ЛИ) на металл [3].

По результатам экспериментальных исследований по сварке различных металлов получаем широкий разброс показателей качества ТП, (шероховатость сварного шва, отсутствие непроваров, прожигов и раковин и т. п.).

На фотографиях (см. рис. 1, 2, 3) видны ярко выраженные дефекты сварного шва для стали при заданных параметрах импульсного ЛИ. На рис. 1 видна неравномерность шероховатости по длине. На рис. 2 показан прожиг металла. Данные результаты получены при сварке непрерывным ЛИ без стабилизации параметров ЛТК. При сварке импульсным ЛИ (рис. 3) появились

кольца уплотнения, приводящие к неравномерности микротвердости по глубине.



Рис. 1. Фото сварного шва непрерывным ЛИ без стабилизации параметров ЛТК.



Рис. 2. Фото разреза сварного шва непрерывным ЛИ без стабилизации параметров ЛТК с прожигом металла.

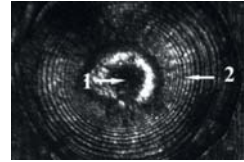


Рис. 3. Фото поверхности стали после воздействия импульсного ЛИ. 1 – зона воздействия (Ф 0,5 мм, энергия ЛИ - 12 Дж, длительность импульса 3 мс.). 2 - кольца уплотнения.

Это объясняется как нестабильностью параметров ЛТК, так и разбросом характеристик поверхностного слоя свариваемых металлов.

Основным параметром, характеризующим качество сварки, является точность позиционирования ЛИ относительно стыка. Для быстро протекающего процесса лазерной сварки необходимо обеспечить автоматизированное управление ЛТК с обратной связью по параметрам, измеряемым в реальном времени хода ТП.

Была разработана экспериментальная установка, структурная схема которой изображена на рис. 4.

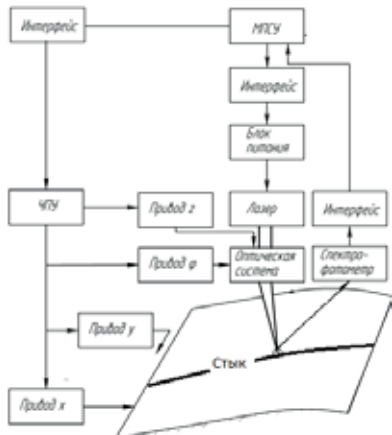


Рис. 4. – Структурная схема ЛТК

Управление параметрами ЛТК и их стабилизация осуществляется за счет отрицательной обратной связи по измеряемым параметрам из зоны взаимодействия ЛИ с металлом. Это обеспечивается за счет анализа положения фокуса ЛИ относительно сварного шва и углу ЛИ к нормали плоскости поверхности детали [4]. Структура САУ ЛТК представляет собой систему, которая характеризуется большим числом обратных связей и является нелинейной.

При обосновании выбора математической модели звеньев были приняты определенные допущения, позволяющие линеаризовать их передаточные

функции. Расчеты и исследования свойств САУ производились для линеаризованной системы. Анализ исследований в области разработки САУ показывает эффективность многоконтурных релейных систем с обратными связями по информативным параметрам, измеряемым в реальном времени для управления ЛТК. Анализ САУ проводился по разработанным моделям в MathCAD. Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W_r = \frac{K}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_2 \cdot \zeta \cdot p + 1) \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot (T_4 \cdot p + 1)} \quad (1)$$

где  $K = \prod K_i = 0,0005$ .

Основным элементом спектрофотометра является много площадочная линейка фотоприемников (рис. 5).

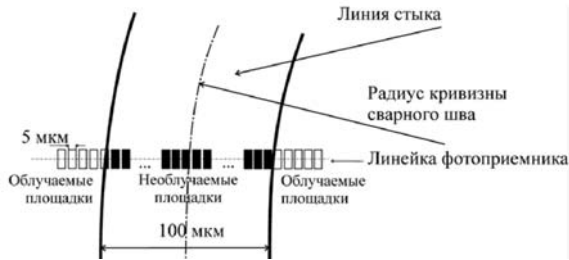


Рис. 5. – Положение много площадочной линейки фотоприемников относительно сварного шва на криволинейной поверхности свариваемых элементов детали

Сборка под сварку обеспечивается тщательной подгонкой кромок по всей длине шва с минимальным зазором (не более 100 мкм) и высокой точностью позиционирования ЛИ относительно стыка. Защита поверхности шва от окисления осуществляется смесью гелия с аргоном, подаваемой через специальное сопло.

**Выводы.** Экспериментальные исследования по воздействию ЛИ на металлы показывают возможность оптимизации энергетических параметров ЛТК для сварки с получением требуемых показателей качества, что приводит к снижению энергозатрат. Разработанная САУ ЛТК удовлетворяет предъявляемым требованиям по точности позиционирования ЛИ относительно стыка и обеспечивают стабильные показатели качества сварки. Локальность зоны сварки обеспечивает рациональное проектирование свариваемых деталей и минимизирует остаточные деформации.

## Литература.

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов/ Под ред. А. Г. Григорьянца. — «М»: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 664 С.: ил.

2. В.В. Звездин, А.В. Хамадеев, Р.Г. Загиров, И.Р. Шангараев. Позиционирование лазерного излучения относительно сварного шва как показатель качества технологического процесса/ Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. - Казань, № 3, 2008. – С. 17-19.

3. В.В. Звездин, Р.М. Алеев, Р.Р. Саубанов, Р. М. Галиев, Р.Р.Рахимов. Способ измерения информативного параметра на основе оптико - физических методов исследований / «Интеллектуальные системы в производстве» ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет». Научно-практический журнал. - Ижевск № 1(17), 2011. – С. 231-237.

4. В.В. Звездин, А.Г. Григорьянц, И.Х. Исрафилов. Метод управления лазерным технологическим комплексом сварки металлов /Научно-практический журнал. – «М.» № 1(17), 2012. – С. 231-237.

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ФОКУСА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ ЗУБЬЕВ ДОЛБЯКОВ

Звездин Валерий Васильевич, Хисамутдинов Равиль Миргалимович,  
Исрафилов Ирек Хуснемарданович, Рахимов Радик Рафисович

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
e-mail: rafisih88@mail.ru, irmaris@yandex.ru

***Аннотация.** Обеспечение качества лазерной наплавки кромок зубьев требует контроля не только энергетических параметров излучения, но и положения фокусного пятна. В работе проведен расчет канала управления положением фокуса лазерного излучения при наплавке, определяющего показатели качества наплавленного слоя. Рассчитаны параметры активной оптико-электронной системы для подсистемы регулировки положения фокуса относительно наплавленного слоя с лазерной подсветкой режущих кромок зубьев долбяков, предложена модель канала управления с учетом теплофизических явлений, происходящих в зоне наплавки.*

***Abstract.** Ensuring the quality of laser welding requires control not only the energy of the radiation parameters, but also the position of the focal spot. In this paper calculated the control channel of position of focus laser radiation during welding, the weld which determines the quality indicators. Was calculated parameters for the active opto-electronic system for adjusting the position of the focus subsystem with respect to the weld seam with the laser illumination is provided a control channel model taking into account the thermal phenomena occurring in the welding zone.*

*Ключевые слова:* лазерное излучение, каналы управления, лазерная наплавка, фокусное пятно.

Стабилизация энергетических параметров в зоне взаимодействия лазерного излучения (ЛИ) с металлом при наплавке и повышение точности позиционирования его фокуса относительно режущих кромок зубьев долбяков, являются оптимальными способами построения систем автоматического управления лазерным технологическим комплексом (САУ ЛТК). Это приводит к решению задачи по выполнению требований к качеству технологического процесса (ТП) наплавки.

Отслеживание траектории движения фокуса ЛИ с высокой точностью обеспечивается неконтактными методами, в частности, основанными на измерении, как светового потока собственного теплового излучения металла, так и отраженного от плоскости зубьев долбяков [3]. Решение задачи контроля положения фокуса ЛИ возможно с помощью линейки фотоприёмников (ФП) [1].

На основе энергетического баланса:

$$W_{\text{ЛИ}} + W_{\text{наддува}} + W_{\text{свет. давл.}} = W_{\text{плавл.}} + W_{\text{мех. кол.}} + W_{\text{отраж.}} + W_{\text{кин.}}$$

где  $W_{\text{ЛИ}}$  – энергия подводимого ЛИ в зону обработки, Дж;  $W_{\text{наддува}}$  – энергия давления защитного газа, Дж;  $W_{\text{свет. давл.}}$  – механическая энергия воздействия ЛИ на поверхность металла, Дж;  $W_{\text{плавл.}}$  – энергия, затрачиваемая на плавление металла;  $W_{\text{мех. кол.}}$  – энергия механических колебаний в металле, Дж;  $W_{\text{отраж.}}$  – отраженная энергия из зоны взаимодействия ЛИ с металлом; Дж;  $W_{\text{кин.}}$  – энергия, затрачиваемая на вылет частиц расплавленного металла, Дж.

Можно констатировать, что  $W_{\text{отраж.}}$  составляет около 10% от энергии  $W_{\text{ЛИ}}$ , так как температура металла превышает температуру плавления и коэффициент поглощения ЛИ для расплава составляет 0,9.

Обеспечение высокой точности траектории лазерной головки, требует более четкой границы засветки площадок фотоприёмников, с этой целью произведём расчёт канала лазерной подсветки. Зона засветки диаметром 10 мм на расстоянии 150 мм от объектива формируется в канале лазерной подсветки излучением полупроводникового лазера  $\lambda=0,84$  мкм с углом расходимости лазерного пучка  $40^\circ$  [1].

В канале лазерной подсветки зона засветки такого размера относительно большая и так как не требуется такого высокого качества как в оптических системах формирования изображения, то объектив выполнен из одной линзы [2].

Расстояние от переднего фокуса до первой поверхности линзы 22,3 мм. Расчетная длина волны 0,84 мкм. Фокусное расстояние 25,1 мм.

Выбор параметров оптики канала фотоприемника, для отражённого суммарного излучения, требует учета таких требований и ограничений, как:

- линейный размер предметной зоны (плоскости зубьев долбяков) качественное изображение которой должно быть сформировано в плоскости фотоприемника – 10 мм;

- диаметр абберрационного кружка (не более) – 10 мкм;

- размер изображения элемента ФП в плоскости зубьев долбяков – 20 мкм;

- количество чувствительных элементов в линейке ФП (не менее) – 500;
- расстояние от объектива до плоскости зуба долбяка – 150 мм;
- достаточность уровня облучения чувствительных элементов ФП от подсвеченной лазером плоскости зуба (энергетическая оценка приведена ниже);
- использование линейки ФП типа DALSA с размером чувствительного элемента 14x14 мкм или 13x13 мкм.

Требуемые значения фокусного расстояния  $f'$  объектива и расстояния  $s$  от ФП до линзы в первом приближении получаем из формул геометрической оптики для тонкой линзы.

$$s' = f' + x' = 150,$$

$$\Gamma = x'/f' = f/x = s'/s = 1,5.$$

Отсюда  $s = 100$  мм,  $f' = 60$  мм.

Эти требования к оптической системе канала ФП реализуются в трехлинзовом объективе. Конструктивные параметры объектива представлены на рис. 1.

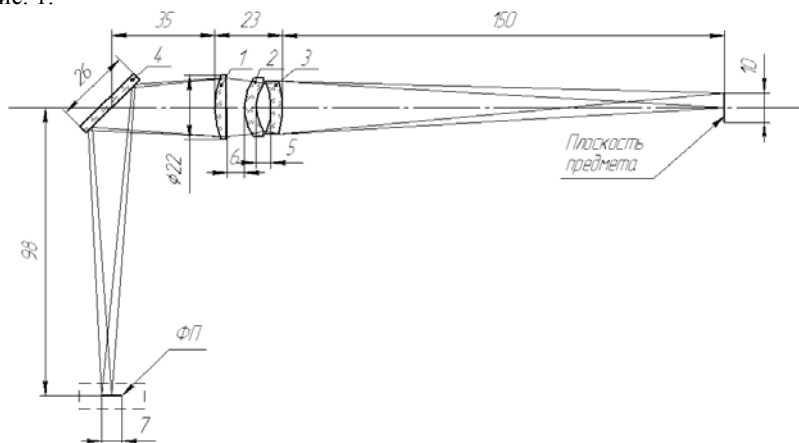


Рис. 1. Ход лучей и конструктивные параметры канала ФП:  
1, 2, 3 – линзы; 4 – зеркало.

Расчетная длина волны 0,84 мкм. Фокусное расстояние 71,3 мм. Расстояние от переднего фокуса  $F$  до первой поверхности линзы 85,5 мм. Расстояние от ФП до первой поверхности линзы 133 мм. Расстояние от последней поверхности объектива до заднего фокуса  $F' = 42,8$  мм.

Плоское ломающее зеркало, установленное в промежутке между ФП и объективом, позволит уменьшить габариты. С помощью аналогичных зеркал возможна оптимизация габаритов оптической части канала ФП. Плоские зеркала не влияют на качество изображения.

Расчет качественных показателей объектива, выполненный в программе «Zemax», была создана диаграмма пятна рассеяния в плоскости зуба для точек

поля зрения, соответствующих отклонению от оптической оси 0, 3,8 и 5 мм. Диаметр кружка рассеяния не превышает 5 мкм [3].

Энергетическая оценка позволит показать достаточную облученность чувствительных элементов линейки ФП при выбранных параметрах оптики лазерного канала и канала ФП [4].

Исходные данные для расчета:

- мощность излучения лазера,  $P_{л} = 0,2$  Вт;
- пропускание объектива лазерного канала  $\tau_{л}$ , не менее 0,8;
- пороговая экспозиция ФП на  $\lambda=0,84$  мкм,  $H_{пор} = 13 \cdot 10^{-12}$  Вт·с/см<sup>2</sup>;
- экспозиция насыщения ФП на  $\lambda=0,84$  мкм,  $H_{нас} = 23 \cdot 10^{-9}$  Вт·с/см<sup>2</sup>;
- пропускание объектива канала ФП с учетом зеркала,  $\tau_{фп} = 0,8$ ;
- коэффициент отражения металла в плоскости зуба,  $\rho = 0,7$ ;
- площадь пятна лазера в плоскости зуба,  $S_{л} = 0,8$  см<sup>2</sup>;
- половина апертурного угла объектива канала ФП,  $\alpha = 2,86^\circ$ ;
- телесный апертурный угол объектива канала ФП,

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \alpha) = 0,0078 \text{ ср};$$

- линейное увеличение объектива в направлении от ФП к плоскости зуба,  $\Gamma = 1,5^x$ .

Расчет производится следующим образом. Энергетическая освещенность (облученность) от лазера в плоскости зуба:

$$E_{сш} = P_{л} \cdot \tau_{л} / S_{л} = 0,2 \cdot 0,8 / 0,8 = 0,2 \text{ Вт/см}^2.$$

Энергетическая яркость пятна лазера:

$$B = E_{сш} \cdot \rho / \pi = 0,2 \cdot 0,7 / 3,14 = 4,45 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(см}^2 \cdot \text{ср)}.$$

Облученность в плоскости ФП:

$$E_{фп} = B \cdot \Omega \cdot \tau_{фп} \cdot \Gamma^2 = 4,45 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0078 \cdot 0,8 \cdot 1,5^2 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2.$$

В случае стандартного времени накопления заряда ФП  $t_{н}=25$  мкс пороговая облученность ФП составляет

$$E_{пор} = H_{пор} / t_{н} = 13 \cdot 10^{-12} / 25 \cdot 10^{-6} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/см}^2.$$

Отсюда следует, что отношение сигнал/шум будет составлять

$$E_{фп} / E_{пор} = 0,6 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 10^{-6} = 1200.$$

Предельно допустимое время накопления заряда не должно превышать

$$t_{max} = H_{нас} / E_{фп} = 23 \cdot 10^{-9} / 0,6 \cdot 10^{-3} = 38 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Отсюда можно сделать вывод, что расчет энергетической оценки лазерной подсветки сварного шва показывает достаточную облученность чувствительных элементов линейки фотоприемника (ФП) при выбранных параметрах оптики лазерного канала и канала ФП.

Представленный метод управления положением фокуса лазерного излучения относительно плоскости зуба с учетом его рассчитанной геометрии позволяет существенно повысить качество наплавки.

## Список литературы

1. Positionnement laser du faisceau par rapport à la soudure comme indicateur de qualité du processus technologique / В.В. Звездин, А.В. Хамадеев,



Р. Г. Загиров, И. Р. Шангараев// Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева, № 3, 2008. – С. 17-19.

2. Влияние модового состава лазерного излучения на зону термического воздействия в металлах./ В.В. Звездин, А.В. Хамадеев, Р.К. Фардиев, Д.И. Исрафилов, Д.А. Башмаков //Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - №2. - 2007.- С.84-85.

3. Алеев Р.М., Иванов В.П., Овсянников В.А. Несканирующие тепловизионные приборы. Основы теории и расчета. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2004. — 228 с.

4. Филичев А.М., Таубкин И.И., Тришенков М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. — М.: Физматкнига, 2005. — 384 с.

УДК 536.3.535.34

## **УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ АКТИВНЫХ ЗОН ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Ибатуллин Вадим Исакович – кафедра ССТМ  
Максимов Владимир Кузьмич – кафедра МСиПБ

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ – КАИ), г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Аннотация: Обсуждаются результаты исследования интегрального коэффициента излучения водяного пара при давлении до 5 МПа и температурах от 450 до 800 К. Проведено сравнение с результатами работ других исследователей.

Ключевые слова: водяной пар, давление, температура, коэффициент излучения.

Annotation: The results of steam integral emissivity  $\epsilon$  studies at a pressure of 5 MPa and temperatures ranging from 450 to 800 K. The comparison with the results of other researchers.

Keywords: steam, pressure, temperature, emissivity

В современном энергетическом машиностроении велика доля специальных сталей и сплавов, предназначенных для работы в условиях высоких температур и давлений рабочей среды. При выборе марок этих материалов необходимо учитывать особенности тепло- и массообмена в конкретном устройстве энергооборудования, которые в свою очередь в значительной степени зависят от состава рабочей среды. Чаще всего в состав рабочих сред входит водяной пар, обладающий повышенными коррозионными свойствами при высоких параметрах состояния. Одновременно с этим повышение температуры в

активной зоне теплотехнического или химико-технологического оборудования повышает долю лучистого теплообмена, который может быть рассчитан лишь при наличии надёжных данных о радиационных характеристиках рабочих сред в широком диапазоне изменения параметров состояния.

В данной работе обсуждаются результаты исследования интегрального коэффициента излучения  $\epsilon$  водяного пара при давлении до 5 МПа и температурах от 450 до 800 К. Тарировочные эксперименты проводились при атмосферном давлении и сравнивались с результатами работ [1-3]. Результаты измерения  $\epsilon$  при повышенных давлениях сравнивались с результатами работы [4]. Кроме того, были проведены расчёты интегрального коэффициента излучения по моделям полос (спектральных линий) [5-8]. Сравнение показало, что если при атмосферном давлении полученные в эксперименте данные совпадают с расчётными значениями, то при повышенных давлениях расчёты по моделям полос дают заниженные результаты. Расхождение увеличивается по мере роста давления (см. рис. 1 и 2).

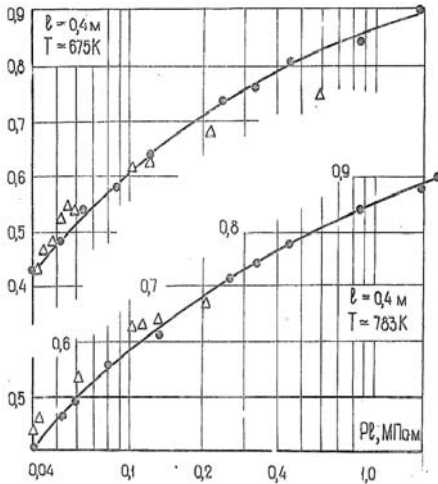


Рис.1. Сравнение экспериментальных данных при повышенных давлениях:

○ – наши измерения; Δ – данные [4]

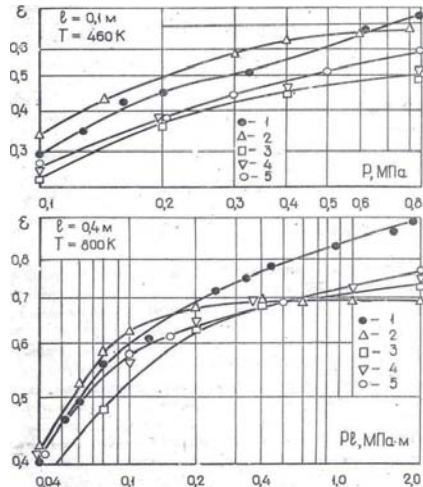


Рис.2. Сравнение экспериментальных данных с расчётами по моделям полос:

– наши измерения; 2 – данные [5]; 3 – данные [6]; 4 – данные [8]; 5 – данные

[7]



Анализ относительных значений коэффициентов излучения показал, что линии  $\varepsilon/\varepsilon_1 = f(P)$  взятые при одной температуре, эквидистантны между собой и могут быть получены из какой-то одной умножением на соответствующий множитель. В данной работе за основу была принята зависимость  $\varepsilon/\varepsilon_1$  при толщине и излучающего слоя  $l = 0,1$  м. На рисунке 5, а и б показаны результаты расчётов зависимости  $C_1^* = \varepsilon/\varepsilon_1$  для разных давлений и значений поправочного коэффициента  $K_1$  от толщины излучающего слоя  $l$ . Аналитическую зависимость для  $K_1$  можно представить в виде

$$K_1 = lgl \quad (1)$$

Зависимость  $C_1^*$  от температуры при разных давлениях показана на рис. 6. Пользуясь графиком поправок  $C_1^*$  на рис. 5, а и аналитической зависимостью для  $K_1$  можно рассчитать значение интегрального коэффициента излучения  $\varepsilon$  при температурах от температуры насыщения до 1000 К, давлениях  $P$  от 0,1 до 4 МПа и толщины излучающего слоя от 0,1 м и более по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot C_1^* \cdot K_1 \quad (2)$$

Предложенный метод расчёта интегрального коэффициента излучения водяного пара при высоких параметрах состояния позволит уточнить значения лучистых потоков в активных зонах теплоэнергетического оборудования, рассчитать температуру стенок и назначить соответствующую марку материала для изготовления.

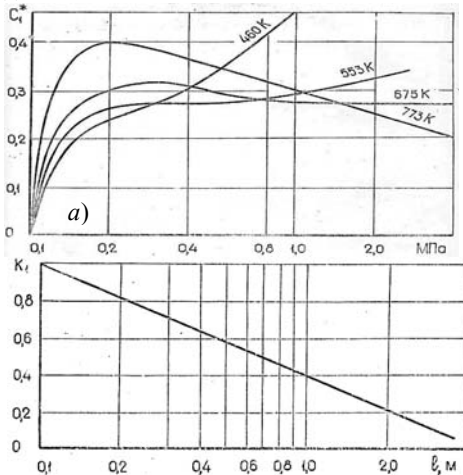


Рис. 5. Зависимость параметра  $C_1^*$  от давления (а) и толщины слоя (б)

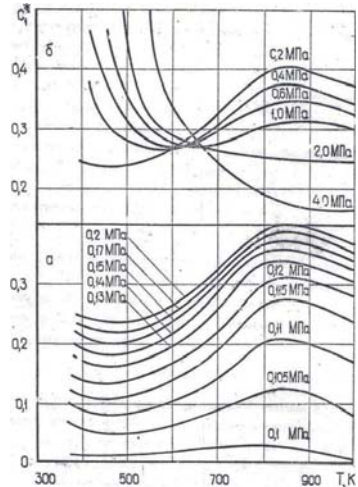


Рис. 6. Параметр  $C_1^*$  для водяного пара в интервале давления от 0,1 до 0,2 МПа (а) и от 0,2 до 4 МПа (б)

### Список литературы

1. Hottel H.C., Mangelsdorfs H.G. Heat Transmission by radiation from non buminous gases II. Experimental studi of carbon dioxide and water vapour. Trans. Amer. Inst. Chem. Eng., Vol. 31, 1935, p. 517-548
2. Eckert E. Messung der Gesamtstrahlung von wasserdampfud Kohlensäure in Mischung mit nicht strahlenden Gasen bei Temperaturen bis zu 1300 °C. Forschung auf dem Geb. der Ingenierw. Aus. B, Band 8, #387, 1937, s. 1...20
3. Schmitt E. Messung der Gesamtstrahlung des wasserdampfes bei Temperaturen bis 1000 °C. Forschung auf dem Gebite des Ingenierw. Band 3, #2, 1932, p. 57...70
4. Хакимов Э.А. Степень черноты водяного пара при повышенных давлениях: Автореф. канд. дис. Казань: КХТИ, 1977, 16 с.
5. Кесс, Лиан. Простая аппроксимация значений степени черноты водяного пара. – Тр. амер. об-ва инж.-мех., сер. С, Теплопередача, 1977, с. 154...156
6. Leckner B. Spektral and total Emissivity of wattervapour and Carbon Dioxide. Combustion and Flame/ 19? 1972, p. 33...48
7. Попов Ю.А., Шварцблат Р.Л. Радиационные характеристики водяного пара и углекислого газа. ТВТ, 1973, т. 11, № 4, с. 741...749
8. Детков С.П., Токмаков В.Н. Новая широкополосная модель в расчётах излучения газов. – Деп. в ВИНТИ, № 2741-75 Деп. Аннотация в ЖПС, т. XXIV, вып. 1, Минск, 1976, с. 170...171

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Исрафилов Данис Ирекович

к.т.н., доцент каф. ВПА Набережночелнинского института КФУ  
423823 Усманова 91/41 - 17 г. Набережные Челны РТ

**Аннотация:** При ионно-плазменном азотировании детали, происходит обработка на всей ее поверхности. Строение и фазовый состав диффузионного слоя определяются диаграммой состояния железо — азот. В тлеющем разряде низкого давления в поперечном потоке рабочего газа обработка происходит в основном со стороны потока рабочего газа, что позволит проводить азотирование требуемых поверхностей. А среда пониженного давления позволит снизить влияние примесей остаточных газов камеры на обрабатываемую поверхность.

**Annotation:** Plasma ion nitriding processing in glow discharge occurs on whole surface of product. Structure and phase composition of the diffusion layer defined by the phase diagram of iron - nitrogen. Low-pressure glow discharge in cross-flow working gas treatment takes place mainly by the working gas stream, which will hold

required nitriding surfaces. In addition, low-pressure environment in chamber will reduce the effect of residual gas contaminants on processing surface.

**Ключевые слова:** Ионно-плазменное азотирование, тлеющий разряд.

**Keywords:** Plasma ion nitriding, glow discharge.

Плазменное азотирование отвечает экологическим требованиям, эксплуатируется большое количество установок для его реализации. Особенностью плазменного азотирования является то, что процессом можно управлять значительно проще по сравнению с азотированием в газовой среде. Процессы ионно-плазменного азотирования, позволяющие получить упрочненный слой при средних и низких температурах, находят широкое применение в различных насыщающих атмосферах.

Процесс ионного азотирования в водородосодержащих средах (аммиак, смесь азота с водородом) достаточно хорошо изучен в отечественной и зарубежной литературе [1 - 3].

Способ формирования износостойкого покрытия на поверхности изделий из конструкционной стали включает ионно-плазменное азотирование в среде реактивного газа — азота, очистку поверхности детали и азотирование. Очистку поверхности и азотирование проводят при давлении реактивного газа  $5 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст., отрицательном напряжении смещения на деталях 300-1000 В и плотности ионного тока 2 - 8 мА/см<sup>2</sup> в течение 30-90 мин, очистку проводят в плазме инертного газа - аргона при давлении  $3 \cdot 10^{-4}$  -  $7 \cdot 10^{-4}$  мм. рт. ст. и плотности тока 3-5 мА/см<sup>2</sup>. Способ позволяет интенсифицировать процесс и увеличить эксплуатационную стойкость фильер, испытывающих высокие удельные нагрузки в процессе трения.

Строение и свойства упрочненного слоя азотируемых деталей зависят от следующих технологических факторов: напряжения между электродами, состава газовой среды, степени ее разрежения, рабочей температуры, продолжительности процесса, взаимного расположения деталей и электродов. Азотируемые детали устанавливают в камеру, подключая к отрицательному электроду, герметизируют камеру и откачивают воздух до давления 1 мм рт. ст. Вид камеры представлен на рисунок 1.



Рисунок 1 - Схема установки для ионно-плазменного азотирования

RV - ротационный масляный насос RV 40/2; EV - автоматический электромагнитный обратный клапан; VB - вентильный блок, содержащий вентили 2, 3, 4, 5; 1 - вентиль; PK - предвакуумная камера; DOW - диффузионный масляный вакуум-насос DOV 500; L - уловитель масляных паров, охлаждаемый водой; VL - уловитель, вымораживаемый жидким азотом; R - колокол; T1, T2 -термопарные измерители; P - измеритель Пеннинга.

На рисунке 2. Показан тлеющий разряд при низком давлении и приведены результаты экспериментальных исследований зависимости температуры газа по длине разрядной камеры при различных токах (рис. 3).



Рисунок 2. Тлеющий разряд при давлении 3 Па, рабочий газ – азот.

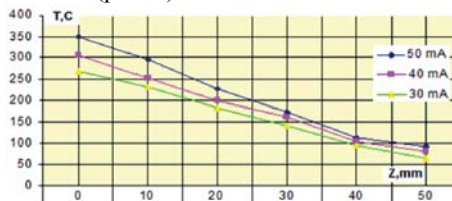


Рисунок - 3. Зависимости температуры газа по длине разрядной камеры при различных токах.

Как видно из приведенного графика температура газа уменьшается вдоль разрядной камеры в направлении от катода к аноду.

Выбор оптимального давления, которое зависит от сложности конфигурации деталей и их рационального расположения, так как с изменением давления изменяется протяженность катодной части разряда. С увеличением давления от 1 до 10 мм рт. ст. область катодной части разряда уменьшается от 10 до 1 мм. Это необходимо учитывать для обеспечения равномерности диффузионного слоя по поверхности детали.

Температура азотирования обычно составляет 470-580°C, напряжение 400-1100 В, разрежение 1-10 мм рт. ст. Рабочее давление лимитируется свойствами тлеющего разряда. При давлении ниже 1 мм рт. ст. энергия ионов недостаточна для нагрева обрабатываемой детали до рабочей температуры, при давлении выше 10 мм рт. ст. нарушается стабильность разряда [5, 6].

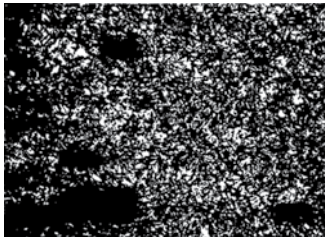
Катодное распыление проводится в течение 5-60 мин при напряжении 1100-1400 В и давлении 0,1-0,2 мм рт. ст. В процессе катодного распыления температура поверхности детали не превышает 250°C. Рабочие параметры процесса при насыщении: U = 400- 100 В, давление 1-10 мм рт. ст.

После обработки поверхности в течение 5-60 мин по режиму катодного распыления напряжение понижают до рабочего, а давление повышают до 1-10 мм рт. ст. При повышении давления уменьшается протяженность катодного свечения, которое равномерно распределяется по поверхности детали, повторяя ее контуры. Катодное распыление можно проводить и в водородной атмосфере, применение которой особенно целесообразно при азотировании аустенитных сталей. Рабочая температура процесса (470—580°C) достигается за 15-30 мин.

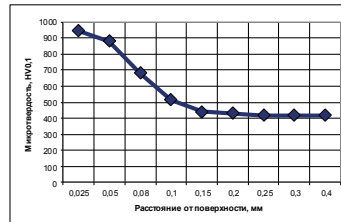
Скорость нагрева определяется соотношением поверхности и массы деталей [7]. После изотермической выдержки детали охлаждаются до комнатной температуры под вакуумом. При этом скорость охлаждения по сравнению с печным нагревом выше, так как при ионной обработке нагреваются только изделия, а нагрев стенок контейнера (рабочей камеры) за счет теплоизлучения и конвекции в условиях разрежения незначителен.

Сталь 4X5МФС является основной для разнообразных штампов, деформирования стали и цветных металлов и для форм литья под давлением алюминиевых и магниевых сплавов диаметром до 70-80 мм.

Соответственно и стойкость форм из сталей 4X5МФС (4X5В2ФС) и 4X4ВМФС в 1,5—2 раза выше.



а)



б)

Рисунок 4. - Микроструктура детали,  $\times 500$ ; а) - на расстоянии 5 мм от торца прутка; б) - график изменения микротвердости азотированного слоя инструментальной стали 4X5МФС

Таким образом, азотированный слой состоит из нитридных соединений ( $Fe_2\text{-}_3\text{-e}$  - фаза,  $Fe_4N$  - /- фаза) и зоны внутреннего азотирования. На рисунке 4 представлена фотография микроструктуры и график изменения микротвердости азотированного слоя стали 4X5МФС.

Распаду аустенита в перлитной и промежуточной области предшествует выделение части карбидов, протекающее по границам зерен, что снижает вязкость на 30-40 %.

**Закключение.** Изменение плотности тока в больших пределах (0,5—20  $mA/cm^2$ ) не оказывает влияния на процесс азотирования.

Повышение технической эффективности ионно-плазменного азотирования заключается в оптимизации параметров технологического процесса в зависимости от габаритно-весовых и геометрических характеристик деталей. Это объясняется тем, что от данных характеристик зависит равномерность распределения плотности ионизированного газа по поверхности объема детали, т.к. интенсивность тлеющего разряда плазмы в атмосфере азота увеличивается на острых кромках деталей.

## Литература

1. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная



химико-термическая обработка сплавов в газовых средах. - М: Изд.МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 400 с.

2. Ибрафилов И.Х., Звездин В.В., Ибрафилов Д.И., Чернова М.А. Исследования по ионно-плазменному азотированию деталей// Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. 2015. Т. 1. № 6. С. 211-216.

3. Каплун В.Г., Пастух И.М. Плазменно-диффузионные процессы модификации поверхности материалов: технология и оборудование//Труды научно-практического симпозиума «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении» - Харьков (Украина), ОТГОМ,-2000.-С. 145-154.

4. Звездин В.В., Галиакбаров А.Т., Саубанов Р.Р., Габдрахманов А.Т., Нугуманова А.И. Исследование влияния параметров импульсного плазменного генератора на показатели качества технологического процесса// Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2010. № 2. С. 50-52.

5. Тимеркаев Б.А., Ахметов М.М., Залялиев Б.Р., Петрова О.А., Ибрафилов Д.И. Самоорганизация нормального тлеющего разряда// Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2014. № 3. С. 158-163.

6. Тимеркаев Б.А., Залялиев Б.Р., Каримов Б.Р., Ибрафилов Д.И. Поведение тлеющего разряда в установках плазменного напыления в распределенном сверхзвуковом потоке газа// Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 4. С. 198-201.

## **СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ГАЗА ИЗ РЕМОНТНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

Кесель Б.А. КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, каф. ТМП

**Аннотация.** В работе представлен метод моделирования структурной модели мобильной газотурбинной установки для перекачки газа из ремонтных участков магистральных газопроводов. Основу метода составляет анализ графов, соответствующих структуре указанных установок. Метод представляет значительный интерес при реализации ранних стадий проектирования.

**Abstract.** The paper presents a method of modeling a structural model of mobile gas turbines for pumping gas from the repair sections of pipelines. The method is based on the analysis of the graph corresponding to the structure of these plants. The method is of considerable interest in the implementation of the early stages of design.

**Ключевые слова:** сложные технические системы, технологические системы ГТУ, структурное проектирование.

Задача разработки высокоэффективных систем по перекачке природного газа из ремонтируемых участков магистральных газопроводов в настоящее время является актуальной с точки зрения улучшения экологии в плане сокращения выбросов в атмосферу указанного газа и достаточно высокой степени его полезного использования.

В практике решения задачи разработаны и достаточно широко используются в странах Западной Европы мобильные установки по перекачке газа, например, типа P-Pack 750 фирмы LMF (Леоберсдорфер Maschinenfabrik GmbH и KoKG, Австрия). В состав установок данного назначения входит основное оборудование приводной двигатель, поршневой компрессор, колёсное шасси и вспомогательные технологические системы, призванные обеспечивать работу основного оборудования. Кроме того, все мобильные компрессорные установки оборудуются системами автоматического управления (САУ).

Например, в указанной установке LMFP-Pack 750 в качестве основного оборудования применяются: приводной газопоршневой двигатель «Катерпиллар» G 3512, поршневой, компрессор BS 604 – 213 S 7. Установка содержит в своём составе ряд вспомогательных технологических систем и САУ.

Современная экономическая ситуация делает нерентабельным приобретение и использование импортного оборудования для решения задачи по перекачке природного газа из ремонтируемых участков магистральных газопроводов. Для обеспечения экономической целесообразности реализации данного технологического процесса было принято решение отказаться от использования импортного оборудования частично или полностью в зависимости от возможностей производства отечественного оборудования.

На предпроектной стадии разработки мобильной ГТУ (МГТУ) для перекачки природного газа из ремонтируемых участков газопроводов (1-й уровень стратификации) были рассмотрены следующие варианты использования основного оборудования. Варианты основного оборудования МГТУ представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Варианты основного оборудования в составе МГТУ.**

<b>№ варианта</b>	<b>Состав основного оборудования МГТУ</b>
<b>1</b>	<b>2</b>
1	Авиационный ГТД – редуктор 1 ст. – редуктор 2-й ст. – гидронасосы - компрессоры с гидроприводом.
2	Авиационный ГТД – авиационный редуктор – генератор – электродвигатели – гидронасосы – компрессоры с гидроприводом
3	Авиационный ГТД – авиационный редуктор с мультипликаторной ступенью – гидронасосы - компрессоры с гидроприводом

Структурная последовательность вариантов основного технологического оборудования МГТУ, представленная в таблице 1 показывает, что каждый из них соответствует структурам конвейерного типа с параллельным подключением устройств потребителей механической энергии, создаваемой авиационным ГТД и редуктором (редукторами). Структурные схемы вариантов разработки МГТУ, соответствующие первому уровню стратификации, представлены на рисунках 1 – 3.

Сравнение вариантов структурных технических схем МГТУ в данной работе выполнено с использованием критерия адекватности. Согласно работе [1], в качестве критерия адекватности используется эффективность действия технической системы в заданных условиях действия, с обеспечением требуемой долговечности данной системы и надёжности её действия.

В количественном плане критерий адекватности [2] может быть определён по формуле:

$$A_0 = E_0(\tau) \times T_0(\tau) \times P_0(\tau), \quad (1)$$

где  $A_0$  – идеальная адекватность технической системы;  $E_0$  – эффективность действия;  $T$  – долговечность технической системы;  $P$  – вероятность эффективного действия технической системы;  $\tau$  – текущее время действия технической системы.

Формула один справедлива для всех вариантов структурных схем МГТУ, представленных в таблице 1.

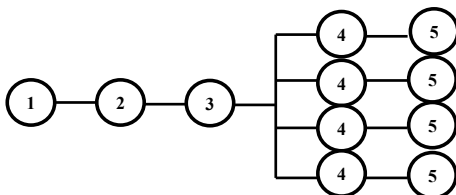


Рисунок 1. Принципиальная схема МГТУ (вариант 1 табл.1)

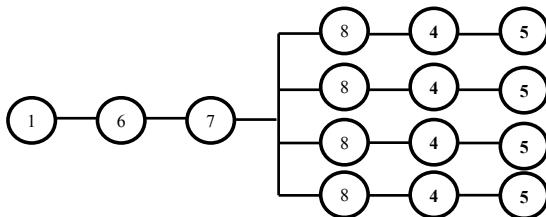


Рисунок 2. Принципиальная схема МГТУ (вариант 2 табл.1)

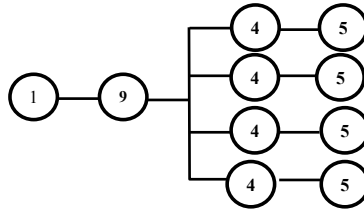


Рисунок 3. Принципиальная схема МГТУ (вариант 3 табл.1)

На рисунках 1, 2, 3 цифрами обозначены: 1 – авиационный ГТД, 2 – редуктор 1-й ступени, 3 – редуктор 2-й ступени, 4 – гидронасосы, 5 – компрессоры с гидроприводом, 6 – авиационный редуктор, 7 – электрогенератор, 8 – электродвигатели с частотным управлением, 9 – авиационный редуктор с мультипликаторной ступенью.

Для выполнения расчётов по формуле (1) были введены следующие предположения о том, что в равных условиях действия все схемы имеют одинаковую эффективность действия и одинаковую долговечность, но в связи с особенностями принципиальных схем вероятность эффективного действия этих систем будет различна и соответственно различна будет и их адекватность. Результаты расчёта адекватности структурных схем МГТУ представлены в таблице 2. Согласно требованиям ПАО «Газпром» к МКУ данного типа эффективность действия для всех структурных схем должна составлять не менее 30 000 м<sup>3</sup>/час. Долговечность технического комплекса МКУ должна быть не менее 100 000 часов.

Предварительные расчёты вероятности эффективного действия по вариантам структуры МКУ (см. рис.1-3) показали:

Вариант 1 вероятность эффективного действия составляет  $P = 0,444$ ;

Вариант 2 вероятность эффективного действия составляет  $P = 0,483$ ;

Вариант 3 вероятность эффективного действия составляет  $P = 0,540$ ;

Таблица 2. Результаты расчёта критерия адекватности для вариантов структурных схем МКУ

№ варианта структурной схемы МКУ	Значение критерия адекватности, м <sup>3</sup>
Вариант 1	$1\,332 \cdot 10^6$
Вариант 2	$1\,449 \cdot 10^6$
Вариант 3	$1\,629 \cdot 10^6$

Таким образом, наиболее эффективной структурной схемой является схема по варианту 3.

### Литература

1. Я Дитрих, Проектирование и конструирование. Системный подход. Перевод с польского под ред. В.М. Бродянского, М.: «Мир», 1981, 454с.

2. Кесель Б.А. Концепция восстановления служебных характеристик газотурбинных установок, выполненных на базе конвертированных газотурбинных двигателей, модернизацией технологических систем в условиях эксплуатации. Монография. 409с., РИО КГЭУ, Казань

3. Дэвид Дж. Смит, Безотказность, ремонтпригодность и риск. М. ООО «Группа ИДТ», 2007, 431с.

## **НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА СИСТЕМ ОЧИСТКИ И ПОДГОТОВКИ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ГТД НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ГПА-Ц- 16.**

Кесель Б.А. КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, каф. ТМП

**Аннотация.** Современная технология ремонта газотурбинных установок (ГТУ) обуславливает необходимость модернизации технологических систем, входящих в их состав с целью восстановления параметров и повышения эффективности. В статье проведён анализ и сформулированы направления дальнейшего усовершенствования одной из главных систем ГТУ – системы очистки и подготовки циклового воздуха.

**Abstract.** Modern technology of repair of gas turbine units (GTU) causes the necessity of modernization of technological system included in their composition with the purpose of restoration options and efficiency. In the article the analysis and directions of further improvement one of the main systems of the gas turbine system of purification and of preparation of cyclic air.

Ключевые слова: капитальный ремонт, газотурбинная установка, система очистки и подготовки циклового воздуха

В настоящее время парк газоперекачивающих агрегатов ГПА-Ц-16 по своему техническому состоянию и наработке в эксплуатации подошел к этапу капитального ремонта. Идеология капитального ремонта включает в себя устранение всех дефектов, проявившихся на блоках и системах агрегата в процессе наработки до капитального ремонта, и одновременную модернизацию указанных блоков и систем.

Система очистки и подготовки циклового воздуха относится к вспомогательным системам ГПА, но именно эта система существенным образом влияет на параметры приводного газотурбинного двигателя (ГТД) и техническую архитектуру отремонтированного ГПА.

Основные задачи, которые призвана решать система очистки и подготовки циклового воздуха, заключаются: в очистке атмосферного воздуха от твердых и жидких включений, содержащихся в атмосферном воздухе перед подачей его в приводной газотурбинный двигатель и обеспечении подогрева циклового

воздуха в случае возникновения условий обледенения тракта. Данные задачи решает комплексное воздухоочистительное устройство, которое входит в состав указанной системы.

В современной технической литературе дискуссия по составу системы очистки циклового и подготовки циклового воздуха не завершена. В ряде работ в состав системы очистки и подготовки циклового воздуха авторы включают только комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ). По мнению других авторов в состав данной системы должны входить все элементы, образующие тракт подачи циклового воздуха от климатических козырьков КВОУ до входного сечения лемнискаты на входе в приводной газотурбинный двигатель. Последняя точка зрения является более правильной, потому что на качество подготовки циклового воздуха и, особенно на уровень гидравлических потерь, оказывают влияние все конструктивные элементы, образующие тракт подачи циклового воздуха.

**Характеристика аэродисперсных систем.** В общем случае атмосферный воздух является аэродисперсной системой, содержащей частицы твердой фазы и жидкие фазовые частицы. При этом, частицы твердой фазы и частицы жидкой фазы образуют полидисперсные системы, как с воздухом, так и между собой.

Условно будем считать цикловым воздухом ту его часть, которая прошла сквозь устройство очистки. Неочищенную часть воздуха будем называть атмосферным.

Все твердые и жидкие включения, содержащиеся в цикловом воздухе, принято подразделять по характеру их образования на две группы: *внешние и внутренние*.

Внешние включения принято также разделять на три группы:

- Естественные включения, которые постоянно присутствуют в атмосферном воздухе (взвешенная пыль, водяной пар, соли морской воды). Периодические включения (дождь, град, туман и т.п.).
- Промышленные: дымы, летучие золы и др. отходы строительных, металлургических и др. предприятий.
- Естественные биологические включения периодического присутствия: насекомые (мошка), летающие семена растений (одуванчик, тополиный пух, иван-чай и др.).

*Внутренние включения*, содержащиеся в цикловом воздухе вследствие попадания паров масла от приводного двигателя, частиц коагулированной мелкодисперсной пыли, продуктов коррозии и т.п. являются вторичными источниками загрязнения циклового воздуха.

К эрозионно-опасным включениям относятся твердые частицы пыли с диаметром более 15 мкм и твердостью по шкале Мооса свыше 5 единиц.

К опасным, с точки зрения образования налётов, относятся частицы мелкой пыли с размером менее 15 мкм и твердостью по шкале Мооса менее 5 единиц. Кроме того, к числу налётообразующих частиц относятся биологические загрязнения и элементы внутренних включений (продукты вторичных источников загрязнения) приведенные выше.

### *Принципы организации современных систем подготовки циклового воздуха.*

Современные системы подготовки циклового воздуха выполняются в виде одно- и двухступенчатых устройств очистки циклового воздуха. Принятие решения о количестве ступеней очистки циклового воздуха зависит от типа газотурбинного двигателя, входящего в состав ГТУ.

Применяемые в современных газотурбинных установках, конвертированные двигатели выполнены на основе авиационных двигателей следующих поколений: (см. табл. 1).

**Таблица 1.Классификация отечественных газотурбинных двигателей по поколениям./1/**

Номер поколения ГТД	Общая характеристика	Примеры двигателей
1	Одноконтурные ТРД, ТРДФ, ТВД с одновальным центробежным или многоступенчатым осевым компрессором при $\pi_k = 3-5,5$ ; турбина осевая неохлаждаемая с $\dot{Q}_a = 1000-1150$ К; конструкционные материалы: алюминиевые и магниевые сплавы, стали, начало внедрения жаропрочных сплавов.	РД-10, РД-20, РД-45, РД-500, ВК-1Ф, АМ-3.
2	Одноконтурные ТРД, ТРДФ, ТВД с одновальным или двухвальным осевым компрессором при $\pi_k = 7-13$ ; турбина осевая, неохлаждаемая $T_a = 1150-1250$ К; конструкционные материалы: стали, жаропрочные сплавы, начало внедрения титановых сплавов.	РД-9Б, АЛ-7, РД-3М, АИ-20, НК-12
3	ТРДФ, ТРДД, ТРДДФ; компрессор одновальный или двухвальный с $\pi_k = 14-20$ ; турбина с внутренним конвективным, воздушным охлаждением рабочих лопаток, $\dot{Q}_a = 1300-1450$ К; конструктивные материалы: титановые и жаропрочные сплавы, стали.	НК-8-4, Д-20П, Д-30, АИ-25, Д-30КП.
4	Дозвуковые ТРДД с большой степенью двухконтурности; ТРДДФ с малой и умеренной степенью двухконтурности; компрессор двухвальный или трехвальный с $\pi_k = 23-30$ ; турбина с конвективно – пленочной системой воздушного охлаждения сопловых и рабочих лопаток; $T_a = 1500-1650$ К; конструкционные материалы: титановые и жаропрочные сплавы, начало внедрения порошковых и композиционных материалов.	Д-36, РД-33, АЛ-31Ф, Д-30Ф6, НК-93.

В отечественной промышленности, особенно на предприятиях ОАО «Газпром» с 80-х годов прошлого века по настоящее время широко эксплуатируются ГТУ с конвертированными двигателями, созданными на базе авиационных двигателей 3 – го поколения.

В настоящее время в ГТУ начинают активно применяться приводные ГТД созданные на базе авиационных двигателей 4 – го поколения.

Для приводных ГТД, созданных на базе двигателей третьего поколения, достаточно одноступенчатой системы очистки циклового воздуха, выполненной на базе щелевых сепараторов или центробежных циклонов (при условии, что ГТУ не эксплуатируется в районах с регулярными пылевыми бурями).

Для приводных ГТД, созданных на базе двигателей четвёртого поколения, применение двухступенчатой системы очистки циклового воздуха обязательно. При этом, данные приводные ГТД весьма чувствительны к отложениям, которые образуются на деталях газовоздушного тракта независимо от степени очистки циклового воздуха.

Создавать условия по качеству очистки циклового воздуха, соответствующие «медицинским операционным», нецелесообразно в силу больших экономических затрат на фильтры тонкой очистки и практически невозможно из-за необходимости проведения работ по техническому обслуживанию.

В ряде регионов, особенно в северных районах нашей страны, с учётом длительного зимнего периода, работа ГТУ осуществляется в условиях практически чистого воздуха и в этот период эксплуатация устройств тонкой очистки воздуха вряд ли целесообразна. В летний период данная система необходима.

Большинство современных систем очистки циклового воздуха выполнены в верхней части шахты подачи циклового воздуха, в виде последовательно установленных устройств, для грубой и тонкой очистки циклового воздуха. Данное выполнение систем очистки воздуха совершенно не решают проблемы загрязнения циклового воздуха от вторичных загрязнений, которые входят в группу внутренних загрязнений. Кроме того, наличие постоянно установленных фильтров тонкой очистки в процессе наработки непрерывно повышают гидравлическое сопротивление тракта подачи циклового воздуха, снижая тем самым показатели эффективности приводного двигателя (мощность и к.п.д)

Таким образом, современные конструкции комплексных устройств очистки циклового воздуха нуждаются в дальнейшем совершенстве.

***Направления усовершенствования систем подготовки циклового воздуха.***

Дальнейшее развитие систем подготовки циклового воздуха должно происходить в направлении более экономного использования ресурса фильтров тонкой очистки воздуха по показателю пылеемкости. Это может быть обеспечено следующими мероприятиями:



- Разработкой и подбором материалов фильтров тонкой очистки воздуха с повышенными показателями пылеёмкости;
- Применением самоочищающихся фильтров тонкой очистки;
- Автоматическим удалением из тракта и установкой в тракт фильтров тонкой очистки в зависимости от уровня фактической запыленности в окружающем воздухе;
- Установкой фильтров тонкой очистки в нижней части тракта для подачи циклового воздуха.
- Использование энергии акустических колебаний воздуха от аэродинамического шума с входа в двигатель для повышения эффективности очистки.
- Разработки эффективных средств борьбы с биологическими загрязнителями циклового воздуха;
- Разработки системы активного управления системой очистки циклового воздуха в зависимости от фактической запыленности окружающей среды.

Таким образом, реализация указанных направлений позволит получить новые комплексные устройства подготовки циклового воздуха, позволяющие рационально расходовать ресурсы воздухоочистительного оборудования и постоянно поддерживать основные показатели эффективности приводных ГТУ на необходимом уровне.

### Литература

1. Сиротин Н.Н. Конструкция и эксплуатация, повреждаемость и работоспособность газотурбинных двигателей. (Основы конструирования). М., РИА «ИМ – ИНФОРМ», 2002, 440с.

### ИК-ОТРАЖАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОНКИХ РЕЗИНОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Ключников Олег Романович, д.х.н., профессор каф. ЭЭ КГЭУ и каф. ТПМ КНИТУ, генеральный директор ООО «Олепластика», OlePlastica@yandex.ru

Ключников Илья Олегович, аспирант КНИТУ.

Астраханов Михаил Вениаминович, магистрант КГЭУ.

**Аннотация:** Для рекомендации покрытий в качестве энергосберегающих необходима экспресс-оценка их ИК-отражающей способности. В связи с этим продолжается совершенствование ранее разработанного стенда КСУ-1.

**Ключевые слова:** ИК-отражение, теплопроводность, измерения, исследуемые покрытия.

**Annotation:** For recommendations energy-saving coatings, require rapid assessment of their IR reflectance. In this connection continues to improve earlier developed stand KСУ – 1.

**Keywords:** ИК-reflection, heat conductivity, measurements, the studied coverings.

### Практическая часть

Изучение ИК-отражающей способности материалов и покрытий позволяет более полно судить об их теплоизоляционных свойствах. В продолжение ранее проведенных исследований [1, 2] нами разработан более компактный и мобильный стенд по определению сравнительной ИК-отражающей способности материалов КСУ-2, который состоит из листа пенопласта на котором закреплены датчик радиометра «Аргус-03» и лампа накаливания 40 Вт с ограждающими экранами, которые предотвращают прямого попадания лучей от лампы накаливания на датчик радиометра «Аргус-03». Исследуемые покрытия располагаются напротив лампы накаливания и датчика ИК-излучения на фиксированном расстоянии длины направляющих стоек.

Фото нового стенда КСУ-2 показано на рис., где 1- лист пенопласта 2 - лампа накаливания; 3 - датчик радиометра «Аргус-03», 4 – исследуемое покрытие; 5 – экраны; 6 – направляющие стойки.

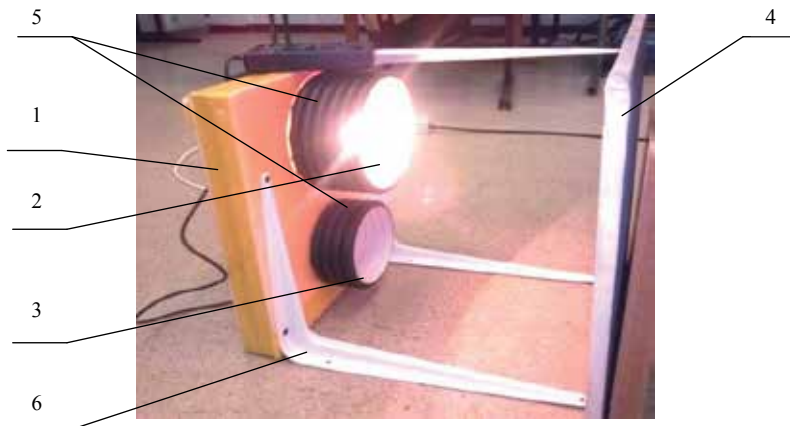


Рис. Стенд КСУ-2 для исследования ИК-отражающей способности покрытий и материалов

Методика проведения экспериментов:

- 1) Включается радиометр «Аргус-03» и выдерживается в течение 3-5 минут до приобретения датчика температуры окружающей среды;
- 2) Измеряется фоновое излучение окружающей среды;
- 3) Устанавливается исследуемое покрытие;

4) Включается лампа накаливания и через 5 секунд записывается показание радиометра, измерения проводятся 3 раза;

5) В качестве эталона ИК-отражающей способности покрытий берется полированная алюминиевая фольга.

По данной методике, при использовании стенда КСУ - 2 были проведены сравнения ряда покрытий на ИК-отражающую способность. В качестве основы для нанесения покрытий были использованы листы гипсокартона. Исследовались тонкопленочные резиновые покрытия (ТРП) без наполнителя, с наполнителями – алюминиевой пудрой, титановыми белилами, а также жидкокерамическое покрытие (ЖК покрытие) «Теплосил» и гипсокартон покрашенный черной краской типа «Лакра». После серии экспериментов полученные данные ИК-отражательной способности покрытий за вычетом фонового излучения, который на момент проведения измерений составил 27,2 (Вт/м<sup>2</sup>), представлены в таблице:

Таблица

Данные ИК-отражательной способности покрытий

Покрытие	Показание радиометра, Вт/м <sup>2</sup>
Алюминиевая фольга - эталон	6,1
ТРП с титановыми белилами	3,6
Покрытие «Теплосил»	3,2
ТРП с алюминиевой пудрой	2,1
Гипсокартон	2,0
ТРП	1,9
Гипсокартон с черной краской «Лакра»	0,6

### Выводы

1. Разработан компактный стенд для определения ИК-отражающей способности материалов и покрытий КСУ – 2.

2. В ряду исследованных покрытий лучший результат по ИК-отражающей способности был обнаружен при использовании тонкого резинового покрытия с наполнителем из титановых белил.

Исследование проводилось при поддержке ООО «Олепластика» и фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере 11881p/21596.

### Литература

1. Ключников О.Р., Седлова П.П., Усманов Ф.Р. Разработка стенда и исследование ИК-отражающих свойств покрытий и материалов / Труды XIV Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение, 18-20 марта 2014 г.» –Казань, 2014. –С. 731-732.

2. Ключников О.Р., Усманов Ф. Р. Исследование ИК-отражающих свойств тонкопленочных резиновых покрытий / Материалы Междунар. науч.-технич. конф. «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2014». Ч 1. –Казань, 2014. –С. 256-258.

## ОБРАБОТКА СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК УГЛОВЫХ ФРЕЗ

Кондрашов Алексей Геннадьевич, Давлетшина Галия Камилловна,  
Заиров Булат Фоатович, Заиров Ленар Фоатович  
кафедра «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ  
423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д.68/19.  
E-mail: kpfu.ktomp@yandex.ru

**Аннотация.** Приводится анализ методов обработки режущей части угловых фрез. Подробно рассмотрен принцип формообразования режущей части угловых фрез с ненулевой геометрией. Рассмотрены вопросы проектирования данных фрез, и приводятся зависимости для определения их геометрических параметров и параметров, необходимых для наладки станка при изготовлении фрез.

**Annotation.** The analysis of methods of processing of the cutting angle of the cutter. Considered in detail the principle of forming a cutting angle of the cutter geometry with non-zero. The problems of designing these mills, and are depending on them to determine the geometric parameters and the parameters required for setting up the machine in the manufacture of milling cutters.

Ключевые слова: фреза, геометрия режущей части, передний угол, наклон режущей кромки, стружечная канавка

Keywords: mill, the geometry of the cutting part, the front angle, the angle of inclination, flute

В современном машиностроении для обработки таких поверхностей как скосы, фаски, угловые пазы и канавки, наклонные поверхности широко применяются угловые фрезы. Как правило, такие фрезы выполняют с нулевой геометрией, т.е. с передним углом и углом наклона режущей кромки равными нулю (рис. 1а). Широкое применение угловых фрез обуславливает то, что формообразование режущей части их с нулевой геометрией не представляет собой технологических сложностей.

При обработке режущей части угловых фрез с нулевой геометрией заготовку позиционируют в пространстве и фрезеруют стружечные канавки путем относительного перемещения формообразующей поверхности инструмента при ее дискретном вращении. При этом заготовка устанавливается в делительной головке, ось которой повернута в вертикальной или

горизонтальной плоскости на угол  $\varphi_1$ , а формообразующая поверхность инструмента выставлена в диаметральной плоскости заготовки (рис. 1б).

Угол поворота оси делительной головки определяется по формуле:

$$\varphi_1 = \varphi - \gamma;$$

где  $\varphi = \arctg(\cos \alpha \operatorname{ctg} \beta)$  – половина угла при вершине конуса заготовки;

$\gamma = \arcsin(\sin \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \theta)$  – вспомогательный угол;

$\theta$  – угол профиля рабочей фрезы;

$\alpha = \frac{360^\circ}{z}$  – центральный угол между зубьями изготавливаемой фрезы;

$z$  – число зубьев изготавливаемой фрезы;

$\beta$  – угол конуса обрабатываемой фрезы. [1]

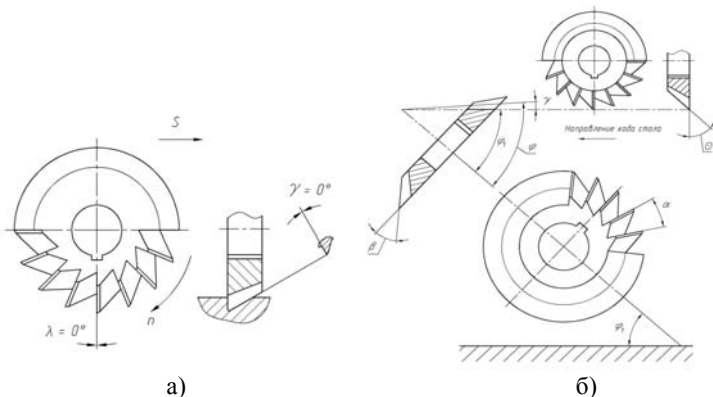


Рисунок 1. Угловая фреза с нулевой геометрией а) – общая схема, б) - схема фрезерования стружечных канавок угловой фрезы с нулевой геометрией)

Такие фрезы обладают рядом недостатков: низкие режущие свойства, неплавность процесса резания, затирание, невысокая стойкость инструмента.

Эти недостатки могут быть устранены выполнением режущих зубьев фрезы с положительными передними углами и положительными или отрицательными углами наклона режущих кромок, другими словами с ненулевой геометрией. В свою очередь, фрезы с ненулевой геометрией, обладают своими недостатками: сложная наладка при изготовлении фрезы; отклонение от плоскостности поверхности, обработанной наклонными прямолинейными режущими кромками. Они значительно сужают область применения угловых фрез с ненулевой геометрией.

В тех случаях, когда не требуется высокая точность обработки, целесообразно применение угловых фрез с прямолинейными режущими кромками и ненулевой геометрией (рис. 2а).

Однако обработка режущей части такой фрезы вызывает сложности, так как отсутствует методика расчета технологических параметров необходимых для ее изготовления.

Для получения зубьев с передним углом и углом наклона режущей кромки отличными от нуля заготовку необходимо повернуть на два угла. На вертикально-фрезерном станке, при фрезеровании стружечных канавок, первый поворот обеспечивает расположение передней поверхности параллельно плоскости стола, а второй поворот - расположение дна канавки параллельно направлению хода стола (рис. 2б).

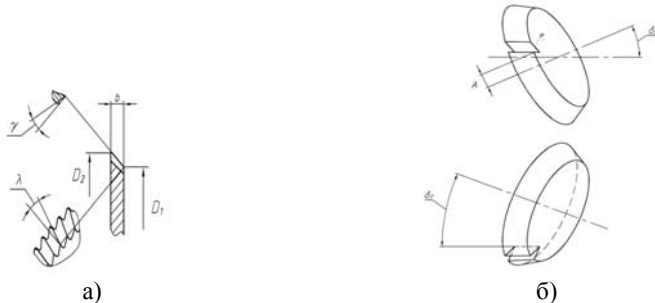


Рисунок 2. Формирование режущей части фрезы: а) режущая часть угловой фрезы с ненулевой геометрией; б) схема образования зубьев фрезы.

Предложенный в данной работе способ обработки режущей части фрез заключается в позиционирование заготовки в пространстве с помощью делительной головки за счет ее поворота на два угла и фрезерования ее стружечных канавок. Для чего предварительно на одном из торцов заготовки, например, на торце меньшего диаметра, выполняют разметку одной точки «P» передней поверхности в плоскости, параллельно смещенной от диаметральной плоскости на величину  $A$ . Делительную головку разворачивают в горизонтальной плоскости на столе станка на угол  $\delta_r$ , относительно направления хода стола. Шпиндель делительной головки поворачивают в вертикальной плоскости на угол  $\delta_b$  относительно направления относительного перемещения. Горизонтальным и вертикальным перемещениями стола станка обеспечивают прохождение формообразующей поверхности инструмента через размеченную точку «P», обеспечивая настройку на необходимую глубину стружечной канавки. При этом величину смещения  $A$  определяют следующей зависимостью (рис. 3а):

$$A = \frac{D_1}{2} \sin \gamma_{r1}$$

где  $D_1$  – диаметр меньшего торца заготовки;

$\gamma_{r1}$  – радиальный передний угол обрабатываемой фрезы, для точки режущей кромки, расположенной на меньшем торце.

Угол поворота шпинделя делительной головки в вертикальной плоскости определяют зависимостью:

$$\delta_B = \arctg(\operatorname{tg}\gamma_{o1} \cos\gamma_{r1}),$$

где  $\gamma_{o1}$  – осевой передний угол обрабатываемой фрезы, для точки режущей кромки, расположенной на меньшем торце.

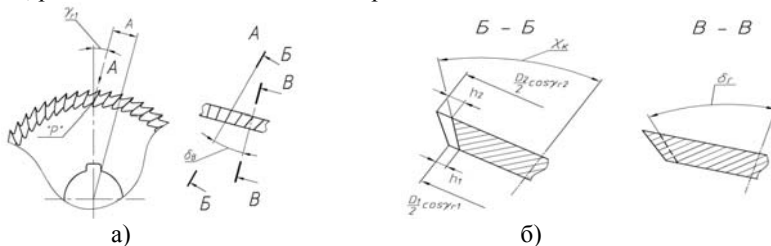


Рисунок 3. Определение ключевых характеристик: а) схема определения угла поворота в горизонтальной плоскости; б) схема расчета угла поворота в горизонтальной плоскости).

Угол разворота делительной головки в горизонтальной плоскости определяют зависимостью (рис. 3б):

$$\delta_r = \arctg(\operatorname{tg}\chi_K \cos\delta_B),$$

где  $\chi_K$  – угол наклона дна стружечной канавки в плоскости передней поверхности,

$$\chi_K = \arctg\left(\frac{D_2 \cos\gamma_{r2} - D_1 \cos\gamma_{r1} - 2(h_2 - h_1)}{2b}\right),$$

где  $D_2$  – диаметр большего торца заготовки;

$\gamma_{r2}$  – радиальный передний угол обрабатываемой фрезы, для точки режущей кромки, расположенной на большем торце;

$b$  – ширина фрезы;

$h_1, h_2$  – глубина стружечной канавки соответственно на меньшем и на большем торцах заготовки.

Обработкой данным способом возможно получение режущей геометрии угловых фрез в широком диапазоне, что позволяет значительно повысить эффективность их применения для обработки деталей из различных материалов.

## Литература

1. Kondrashov A.G., Balabanov I.P. Shaping of cutting part of angle milling cutters with nonzero geometry World Applied Sciences Journal.-Volume 30,Issue 12, 2014.- Pp.1731-1734.
2. Golovko A.N., Golovko I.V. Determining the profile error of a gear-cutter tooth with modified roller motion // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, No.2. hh.154-155.
3. Патент РФ на изобретение № 2319583, МПК В23С 3/36. Способ обработки режущей части фрез / Белугин Ю.Ф., Жигалов В.И., Кондрашов А.Г. - № 2006116109/02; заявл. 10.05.2006; опубл. 20.03.2008. Бюл.№8,12с.

### РАЗРАБОТКА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РАМКАХ ЗАДАЧ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

#### THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF REPAIR OF GAS TURBINE ENGINE PARTS IN THE FRAMEWORK OF THE TASK OF ENERGY SAVING

Куртаева Ф.Н., Круглов Е.П., Полякова К.С.,  
Kurtaeva F.N., Kruglov E.P., Polyakova K.S.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.  
Н. Туполева – КАИ  
420111 г. Казань, ул. К.Маркса, 10

Проведена оценка эффективности ремонтных технологий детали ГТД с применением методов металлографического анализа. Деталь: кольцо из сплава ОТ-4. Показаны преимущества ремонта с использованием титанового сплава ПТОМ-1. Пайка осуществлялась в вакуумной печи.

The efficiency of gas turbine engine parts repair technologies using metallographic analysis. Item: Ring alloy OT-4. The advantages of the repair using a powder of titanium alloy. Soldering was carried out in a vacuum furnace.

*Ключевые слова: ресурсосбережение, газотурбинный двигатель, дефекты, микроструктура.*

При решении актуальной задачи продления ресурса работы наземного двигателя газоперекачивающего агрегата ставится вопрос о выборе ремонта или изготовления новых деталей. Решение зависит от вида детали и её повреждений. Объект исследования: рабочее кольцо компрессора низкого давления ГТД, материал: титановый сплав ОТ-4, дефекты: поверхностные - забоины, раковины и локальные износы трущихся поверхностей.

Ремонтная технология реализована на моторостроительном предприятии.  
1. Подготовка рабочего кольца под пайку: кольцо было протравлено соляной



кислотой [1. с 8], канавка зачищена металлической щеткой. 2. Сборка под пайку осуществлялась двумя различающимися способами. 3. Пайка осуществлялась в вакуумной печи. 4. Контроль качества пайки оценивался визуальным осмотром и металлографическим исследованием.

По первому способу сборки под пайку в часть канавки по периметру (50-60% длины окружности) была уложена сварочная проволока ВТ20-2 св Ø3мм. Проволока прихватывалась конденсаторной точечной сваркой шагом 5...10мм. В канавку кольца в местах прихватки проволоки насыпался порошковый припой ВПр 16 с таким расчетом, чтобы перекрывалась половина высоты проволоки, после чего припой закреплялся акриловой смолой БМК-5.

По второму способу в другую канавку этой детали первым слоем насыпался титановый сплав ПТОМ-1 высотой 0,8-1,2мм, после чего поверхность пропитывалась акриловой смолой БМК-5. Затем вторым слоем после высыхания смолы насыпался порошковый припой ВПр 16 [2. с 105] высотой 0,5 - 0,8 мм, который так же закреплялся смолой.

В результате визуального контроля мест пайки проволоки выявлено следующее. При использовании первого способа сборки в местах симметричного расположения сварочной проволоки образовались равномерные паяные швы по обе стороны проволоки. Но в местах несимметричного расположения проволоки обнаружены глубокие непропаи со стороны непрileгания проволоки к стенкам канавки, что показано стрелкой на рисунке 1. Указанные недостатки отсутствуют при сборке под сварку вторым способом: по местам пайки порошковым титановым сплавом ПТОМ-1 поверхность паяного шва ровная, серебристого цвета, дефектов нет.

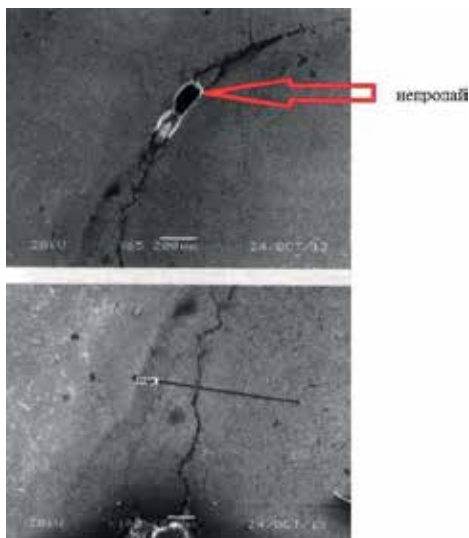


Рисунок 1. Микроструктура паяного шва сварочной проволокой ВТ20-1

Металлографическое исследование паяного шва, заполненного сварочной проволокой ВТ20-1 показало: разнотолщинность паяного шва; наличие участков неравномерного распределения припоя, наличие диффузионной зоны взаимодействия припоя с основным материалом проволоки и стенки канавки в местах формирования равномерного паяного шва (рисунок 1).

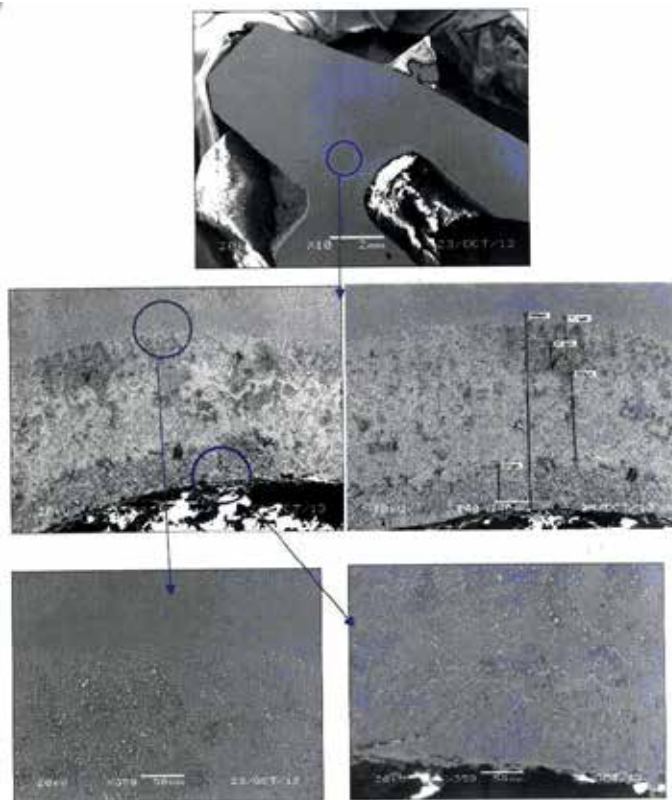


Рисунок 2. Микроструктура паяного шва порошковым титановым сплавом ПТОМ-1

При анализе структуры паяного шва, сформированного с помощью порошкового титанового сплава выявлена равномерность толщины шва, микроструктура зоны пайки однородная, плотная, дефектов нет; установлено наличие диффузионной зоны взаимодействия основного металла кольца со смесью порошковый титановый сплав – припой (рисунок 2). Так как при ремонте сварочной проволокой обнаружен непропай, то более эффективной была признана технология ремонта порошковым сплавом.

Таким образом, наиболее эффективным методом исправления поверхностных дефектов рабочих колец компрессора низкого давления ГТД является ремонт методом пайки порошковым титановым сплавом. Отремонтированное кольцо было признано пригодным для дальнейшей эксплуатации в составе изделия НК-16СТ. В результате ремонта увеличен рабочий ресурс детали до 35000 часов, а это 5 лет непрерывной работы двигателя.

#### **Литература:**

1. ГОСТ 9.305-84 ЕСЗ КС. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Операции технических процессов получения покрытий.
2. Петрунин И.Е. Пайка металлов, М., «Металлургия», 1973.-280с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ И ПОВРЕЖДЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ**

Маслов А.А

АО «Казанский научно - исследовательский институт авиационных технологий»  
420036, г.Казань, ул.Дементьева, 2в

При ремонте и модернизации гидравлических прессов наряду с задачей, улучшения восстановления технических характеристик, возникает вторая задача: устранение следов эксплуатационного износа и возврат оборудованию эстетического вида.

При решении вопроса связанного с износом и техническими повреждениями станины пресса ПГВ-1 специалистами АО «КНИАТ» была применена технология Холодного Газодинамического Напыления металла (ХГН).

Технология ХГН включает в себя формирование сверхзвукового газового потока, подачу в этот поток порошкового материала с размерами частиц 0,01-50 мкм, его сверхзвуковое ускорение в сопле и направление частиц порошка на поверхность изделия. Ускорение частиц возможно в среде холодных или подогретых газов. Значения температуры существенно ниже температуры плавления материала порошка (0,4-0,7Тпл). Технология (ХГН) позволяет наносить металлические покрытия не только на металлы, но и на стекло, керамику, камень, бетон. Покрытия, нанесенные этим методом, механически прочны и имеют высокую адгезию к обрабатываемой поверхности.

Технологический процесс по ремонту станины пресса был разбит на несколько технологических операций:

- 1) Операция снятия старого лакокрасочного покрытия.

- Удаление невообязанных при модернизации элементов конструкции станины прессы методом плазменной резки.



- Механическая зачистка поверхности станины.
- Установка технологических заглушек



- Электродуговая сварка + механическая обработка сварных швов технологических заглушек



- Обезжиривание поверхности.



7) Нанесение металла методом ХГН.



8) Механическая зачистка восстановленных поверхностей.



9) Покраска восстановленного изделия.

Применение данной технологии позволяет достичь следующих преимуществ:

- 1) Пластичность и высокая адгезия применяемых материалов (Al, Zn, Ni, Cu) позволяет получить качественную форму и поверхность восстанавливаемого изделия.
- 2) Мобильность оборудования позволяет производить ремонт в месте стационарного нахождения прессов.
- 3) Снижается трудоемкость, связанная со сборочно-разборочными операциями и транспортировочными манипуляциями к месту ремонта.

- 4) Восстановленные поверхности по технологическим и эстетическим характеристикам соответствуют предъявляемым к ним требованиям по модернизации и ремонту оборудования.
- 5) Снижается себестоимость ремонтно-восстановительных работ, ввиду отсутствия необходимости изготовления новых деталей и узлов.
- 6) Снижаются общие сроки, отведенные на реализацию ремонта и модернизации гидравлических прессов.
- 7) Уменьшается простой дорогостоящего оборудования связанный с его выходом из технологической цепочки производства предприятия заказчика.

### Литература:

1. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. – М.: Физматлит, 2010 - 536с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Морушкин Артём Евгеньевич  
Колесников Дмитрий Николаевич  
Галиуллин Руслан Раифович

Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н.Туполева (КНИТУ - КАИ)  
г. Казань ул. Карла Маркса, 10  
morushkin@mail.ru  
dmitry\_kolesnikov1995@mail.ru  
paritet\_365@mail.ru

**Аннотация:** В статье описано получение сварного соединения встык нержавеющей стали и меди. Были проведены испытания сварного шва и исследование микроструктуры.

**Abstract:** the article describes the preparation of a welded joint butt weld stainless steel and copper. Was tested of the weld and the examination of the microstructure.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, волоконный лазер, сварка разнородных металлов.

В различных изделиях современной техники характерным является использование значительного числа разнородных по свойствам металлов. Использование в одном изделии разнородных металлов повышает коррозионную стойкость в различных средах, жесткость и прочность, уменьшает вес изделия, экономит драгоценные и дефицитные металлы.

Многие сочетания разнородных металлов: медь–алюминий, алюминий–нержавеющая сталь, алюминий–титан, титан–нержавеющая сталь, железо–

ниобий и др. имеют ограниченную взаимную растворимость и могут образовывать в зоне сварки хрупкие соединения. Поэтому одной из проблем сварочного производства является разработка эффективных и надежных технологических процессов качества соединения разнородных металлов.

Лазерная сварка волоконным лазером является перспективным методом соединения разнородных металлов, благодаря её высокой производительности и мощности источников энергии, высокой скорости сварки и ограниченной зоны термического влияния.

Целью данной работы является получение сварного соединения встык нержавеющей стали и чистой меди без применения присадочного материала и исследование микроструктуры полученного соединения.

Чистая медь имеет низкий коэффициент поглощения и высокую степень отражения лазерного излучения, поэтому было решено использовать расфокусированный лазерный луч, со смещением на нержавеющую сталь.

Перед проведением экспериментов по сварке были проведены проплавы стали и меди для определения необходимых параметров сварки. Из проплавленных образцов были приготовлены шлифы для оценки глубины проплава и ширины сварочной ванны. Для более длительного взаимодействия расплавленной стали с медью необходимо, чтобы сталь была максимальное время в жидком состоянии, но без ущерба глубине проплава. Из результатов исследования шлифов проплавов было решено использовать следующие параметры для сварки:  $P = 2,5$  кВт,  $v = 10$  мм/с,  $F = +12$  мм, смещение луча = 1 мм.

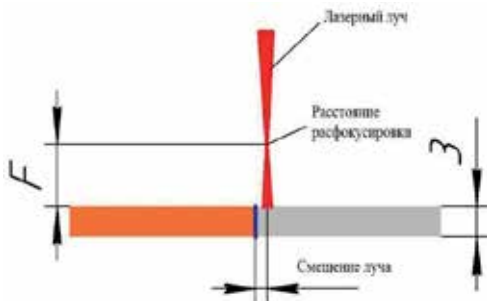


Рисунок 1.Схема сварки

Полученное сварное соединение имеет полный проплав, зона термического влияния (ЗТВ) у меди, длиной около 5 мм, что свидетельствует о нагреве и расплавлении меди или твердо-жидком взаимодействии с расплавленной нержавеющей сталью. Наблюдается симметричное оплавление верха и низа заготовки из меди расплавленным металлом нержавеющей стали. Текстура металла шва нержавеющей стали литая, размер зерна меди на границе сплавления очень большой. Величина смачивания меди около 450 – 550 мкм. Так же имеется переходный слой между медью и сталью, ширина слоя около 41

– 53 мкм. Островки нержавеющей стали в меди результат взаимодействия металла нержавеющей стали и меди в жидком состоянии.

Был также проведен более тщательный анализ переходного слоя по всей глубине, т.е. измерение данного слоя при увеличении 500×. Установлено, что переходный слой является не стабильным, в некоторых местах его ширина 100 мкм, в некоторых 30, 70, в некоторых он отсутствует, общая длина переходного слоя 2520 мкм, на остальной части (480 мкм) наблюдается резкий переход от меди к нержавеющей стали.

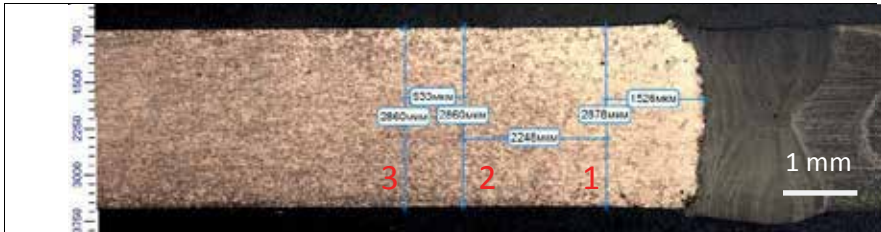


Рисунок 2.ЗТВ меди

На рисунке 2 видно, что медь хорошо оплавилась, есть достаточно большая ЗТВ. ЗТВ состоит из нескольких частей, которые имеют разный размер зерен, крупнозернистый участок протяженностью 1.5 мм (1, рис 2), участок со средним размером зерен протяженностью около 2.2 мм (2, рис 2), участок перехода от среднего к мелкому зерну протяженностью 0.9 мм (3, рис 2). Следует заметить, что у чистой меди практически нет зависимости теплопроводности от размера зерна, большее влияние оказывают примеси.

Сварное соединение волоконным лазером можно получить при взаимодействии жидкой нержавеющей стали с твердой медью, применяя способ со смещением лазерного луча. Образование сварочной ванны происходит на нержавеющей стали, при этом не происходит обратного отражения лазерного излучения от меди.

Получены следующие результаты.

- Сварное соединение не имеет дефектов в виде пор и трещин.
- Металл шва имеет переходный слой между медью и нержавеющей сталью, который имеет твердость 128 – 170 HV<sub>0.01</sub>, химический состав данного слоя преимущественно медь (Cu – 73%) и легирующие компоненты нержавеющей стали (Fe – 19%, Ni – 3.5%, Cr – 4.5%), ширина данного слоя 30 – 100 мкм, на 15% длины данного слоя наблюдается резкий переход от меди к нержавеющей стали.

### Список литературы:

1. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 156с.



2. Belinga Mvola, Paul Kah, Jukka Martikainen Welding of dissimilar non ferrous metals by GMAW processes International Journal of Mechanical and Materials Engineering 2014, 9 – 21.

3. Comparison of Cu, Ti and Ta interlayer explosively fabricated aluminum to stainless steel transition joints for cryogenic pressurized hydrogen storage./ Salvador M. Aceves, Francisco Espinosa-Loza, John W. Elmer, Robert Huber./ international journal of hydrogen energy 40 (2015) 1490-1503.

4. Evolution of structure and fabrication of Cu/Fe multilayered composites by a repeated diffusion-rolling procedure./ Yihang Yang, Dezhi Wang, Jia Lin, DilFaraz Khan, Gaoyong Lin, Jidong Ma.

5. Interface microstructure and mechanical properties of laser welding copper–steel dissimilar joint Chengwu Yao, Binshi Xu, Xiancheng Zhang, Jian Huang, Jun Fu, Yixiong Wu Optics and Lasers in Engineering 47 (2009) 807–814.

6. Joining of dissimilar materials./ K. Martinsen, S.J. Hu, B.E. Carlson./ CIRP Annals - Manufacturing Technology 64 (2015) 679–699.

7. Microstructural characterization and mechanical properties of dissimilar friction welding of 1060 aluminum to AZ31B magnesium alloy./ Zhida Liang, GuoliangQinn, Liyuan Wang, XiangmengMeng, Fei Li./ Materials Science & Engineering A 645 (2015) 170–180.

8. Modeling and experimental analysis of fiber laser offset welding of Al-Ti butt joints Giuseppe Casalino& Michelangelo Mortello The International Journal of Advanced Manufacturing Technology March 2016, Volume 83, Issue 1, pp 89-98. process./Minjung Kang, Cheolhee Kim./ Materials and Design 81 (2015) 95–103.

9. Study on welding–brazing of copper and stainless steel using tungsten/metal gas suspended arc welding./ Yufeng Zhang, Jihua Huang, Hai Chi, Nan Cheng, Zhi Cheng, Shuhai Chen./ Materials Letters 156 (2015) 7–9.

10. Theory and technology of welding of dissimilar materials by high power fiber laser. Proceedings - 2014 International Conference Laser Optics, LO 2014. Turichin G.A., Klimova O., Babkin K., Valdaytseva E. Physics Procedia 56 ( 2014 ) 566 – 575.

11. Welding of dissimilar metals and alloys V.R. Ryabov, D.M. Rabkin, R.S. Kurochko, L.G. Strizhevskaya. – Moscow. Mechanical Engineering, 1984. - 239 p.

12. Yb–YAG laser offset welding of AA5754 and T40 butt joint./ Giuseppe Casalino, Michelangelo Mortello, Patrice Peyre./ Journal of Materials Processing Technology 223 (2015) 139–149.

Работа выполнена при поддержке Мегагранта по постановлению № 220, контракт № 14z50.31.0023.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ МЕТАЛЛА НА РАЗРУШЕНИЕ САТЕЛЛИТА ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Установлены закономерности согласования дефектов металла, обусловленных технологической наследственностью, с отказами деталей планетарного редуктора, привода заднего колеса экскаватора HYUNDAI марки ROBEX 170W-7. Проблемы вызваны неудачной компоновкой элементов редуктора, металлургическими дефектами стали и нарушением технологии термической обработки сателлитов и деталей подшипника.

The regularities of matching metal defects caused by technological heredity and failures of parts the gearbox of the planetary gear, reducer rear wheel the excavator HYUNDAI ROBEX 170W-7. The problems caused by a failed layout elements reducer, metallurgical defects in steel for satellites and bearing parts that are manufactured in violation of the thermal treatment technology.

Ключевые слова: сателлиты планетарного редуктора, термообработка, свойства

В работе исследованы фрагменты деталей разрушенного планетарного редуктора: корпуса, сателлитов, колеса и ролики подшипников. Внутренняя полость корпуса планетарного редуктора механических повреждений не имеет (рис.1). Два сателлита на водилах отсутствуют. Третий имеет ряд разрушенных зубьев. Стопорные кольца находятся в канавках, а внутренние обоймы сателлитов расположены на положенных местах. Это свидетельствует о том, что поломка редуктора началась либо сателлитов, либо, что маловероятно по его состоянию (рис.2), с планетарного колеса.

В изломах фрагмента корпуса планетарного редуктора обнаружены многочисленные поры и кратеры (рис.3), размерами в треть - половину от



Рис.1 Внутренняя полость корпуса Рис.2 Разрушенное планетарное колесо

толщины стенки, там же имеется окисленная трещина. В изломах планетарного колеса (рис.4) выявлены окисленные трещины, свидетельствующие о браке термической обработки. Анализ изломов выявил их хрупкий характер разрушения.

На опорной поверхности сателлитов обнаружен неравномерный износ (рис.5) (выработка) металла роликами подшипника, что приводит к разбалансировке опоры и появлению нерасчётных (ударных) нагрузок в эксплуатации. Там же (в сателлитах рис.6) имеются раскрытые трещины, подтверждающие наличие значительных остаточных напряжений, обусловленных не качественным проведением отпуска после упрочняющей термической обработки – закалки. Последнее обстоятельство так же может существенно снизить несущую способность.

Имеются многочисленные случаи изломов части зуба или разрушения по его ножке, где при работе действуют максимальные изгибные циклические напряжения. Все разрушения сателлитов хрупкие (рис.6). Повреждения выявлены и на поверхности роликов подшипника. Измеренные значения твёрдости позволяют оценить корректность проведения термической обработки. Для успешной эксплуатации зубчатых колёс и рабочих поверхностей сателлитов нормативными документами ГОСТ 4543, ГОСТ 21354, ГОСТ 13755, ГОСТ 801 и [1] регламентируются металлургические дефекты. Справочной [2] и учебной [3, 4] литературой рекомендуется обеспечить высокую твёрдость поверхности зубьев  $HRC_{\Sigma} > 48..58$  (для обеспечения сопротивления изнашиванию) и умеренную твёрдость металла сердцевины  $HRC_{\Sigma} 25..35$  (для обеспечения высокой вязкости), демпфирующей способности, сопротивления усталости и трещиностойкости. Дополнительным условием обработки опорной поверхности сателлитов является высокий уровень их твердости не менее



Рис.3 Фрагменты изломов разрушенного корпуса планетарного редуктора



Рис. 4 Фрагмент разрушенного планетарного колеса

HRC<sub>62</sub> [2-5]. Для реализации указанных значений используют поверхностные методы упрочнения, для наземных транспортных средств, чаще индукционную закалку. В результате выполненных измерений уровень твёрдости опорного кольца (подшипника) сателлита составил HRC<sub>56</sub>, занижен на 6 единиц относительно минимальных нормативных требований. Твёрдость роликов подшипника составила HRC<sub>58...60</sub>, занижена на 2...4 единицы, в связи с браком при термической обработке. Оба обстоятельства приводят к снижению сопротивления изнашиванию втулки сателлита и роликов подшипника. Твёрдость зубьев сателлита завышена: у поверхности составляет HRC<sub>65</sub>, в сердцевине HRC<sub>58</sub> – превышая на 27 единицы максимально допустимые значения твёрдости; что сильно снижает надёжность детали, охрупчивая сталь.

Результаты проведённого анализа выявили недопустимо низкое качество металла сателлитов и недостатки конструкции редуктора. Это иллюстрируется не равномерной выработкой металла опорных поверхностей сателлитов при работе, из-за недостаточной твердости стали, и приводит к возникновению динамических нагрузок. Сквозная индукционная закалка зубьев сателлита при низкой частоте тока (данная термообработка применена не обоснованно), одновременно разупрочняя и охрупчивая металл увеличивает вероятность разрушения [5, 6]. В таких случаях, при индукционной закалке, рекомендуется использовать фасонный индуктор или токи более высокой частоты.

Конструктивной особенностью исследованного планетарного редуктора является применение не удачной схемы водила с консольным расположением осей сателлитов. Изгиб осей под нагрузкой способствует перекосу зубьев сателлита. В сложившихся условиях хрупкого состояния металла зубьев, повреждённых внутренних поверхностей сателлитов, вызывающих биения и наличия в них остаточных напряжений, при малейших перекосах осей, условия динамического нагружения приводят к существенному снижению несущей способности стали и разрушению зубьев от усталости.



Рис.5 Фрагменты разрушенного сателлита

Таким образом, учитывая выявленные металлургические дефекты и последствия низкого качества термической обработки деталей планетарного редуктора можно полагать.

- Основными причинами разрушения корпуса планетарного редуктора явились многочисленные поры и кратеры, размерами в треть половину от толщины стенки, окисленные термические трещины металла, разрушение сателлитов и планетарного колеса.

- В свою очередь, основными причинами разрушения планетарного колеса явились окисленные термические трещины металла и разрушение сателлитов.

- Основными причинами разрушения сателлитов явились не обоснованно высокие значения твердости в сердцевине металла (превышено на 27 единиц HRC, составляет ~90% от номинала), завышены - у поверхности зубьев на 7 единиц и низкие значения твердости металла опорных поверхностей (в зоне подшипника занижено на 6 единиц HRC<sub>3</sub>). Возможно, из-за сквозной индукционной закалки с использованием тока низкой частоты металл зубьев и сердцевины сателлитов сильно охрупчен. Это приводит к неравномерному износу, выработке металла роликами подшипника, разбалансировке опоры и появлению при работе нерасчётных динамических (ударных) нагрузок в условиях значительных остаточных (технологических) напряжений, обусловленных не качественным проведением термической обработки.

Вывод: отмечая многочисленные производственные дефекты исследованных деталей основной причиной разрушения планетарного редуктора привода заднего колеса экскаватора HYUNDAI марки ROBEX 170W-7, явились: не обоснованная технология упрочнения стали и брак в термической обработке сателлитов.

#### Список литературы

1. ГОСТ 10243 Сталь. Метод испытаний и оценки макроструктуры.
2. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; под общ. ред. В.Г. Сорокина- М.; Машиностроение, 1989.-640 с.
3. Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Маслов Г.С. Прикладная механика: Учебн. / под ред. Г.Б. Иосилевича.- М.: Высш.шк., 1989.-351 с.: ил.
4. Гуляев А.П. Металловедение: Учеб. / 5-е изд.- М.: Металлургия, 1978. - 647 с.: ил.
5. Муратаев Ф.И. Адаптация методики преподавания к требованиям ФГОС ВПО для повышения профессиональных компетенций студентов-материаловедов // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2014. № 1. С. 194-197.
6. Мосберг Р.К. Материаловедение: Учеб. /Таллинн: Валгус, 1976.-554с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТРЕСКИВАНИЯ ДИСКОВ КВД ГТУ «МАН» ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МАТЕРИАЛА И ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Установлены закономерности повреждений металла ободной части дисков КНД и КВД стационарной ГТУ в эксплуатации и дефектов структуры и свойств, обусловленных технологической наследственностью пазов типа «ласточкин хвост». Межкристаллитное разрушение пазов дисков вызвано металлургическими и технологическими дефектами: крупнопластинчатой структурой мартенсита, сильной загрязненностью металла включениями, повышенной хрупкостью и недостаточной прочностью мартенситной стали.

The laws damage the metal rim of the disc, LPC and HPC stationary gas turbines in operation and defects of the structure and properties of the resulting technological heredity grooves such as "dovetail". The destruction disks of the mentioned grooves on the intergranular type is caused by the formation of metallurgical and technological defects in the form martensite structure with large plates and needles, heavily soiled metal foreign inclusions, increased brittleness and poor strength of martensitic steel disc.

Ключевые слова: диски компрессора, разрушение, термообработка, свойства.

В работе исследованы натурные элементы дисков КНД и КВД стационарной ГТУ по причине образования многочисленных трещин (растрескивания) в пазах под замки рабочих лопаток 3 и 7-ой ступеней компрессора типа «ласточкин хвост» (рис.1). Результаты предварительного макроскопического анализа свидетельствуют: диск 3-ей ступени ( $\varnothing 294\text{мм}$ )

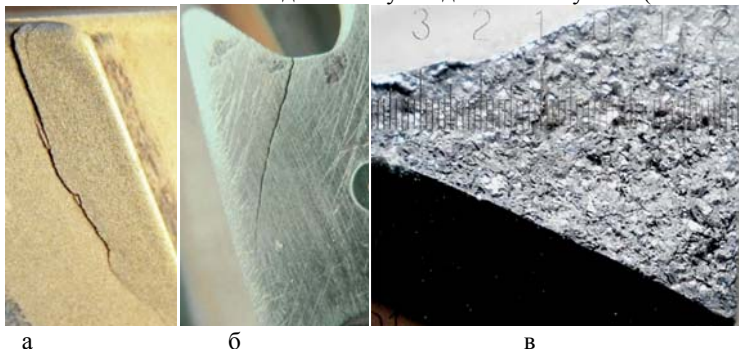


Рис.1 Примеры растрескивания пазов дисков 7 (а) и 3-(б, в) ступеней имеет 4 трещины, протяженностью до 14мм, глубиной 6...11мм; диск 7-ой ступени имеет: 12 трещин из них 2 скола протяженностью до 16мм, глубиной 4...7мм.

Поэлементный химический состав определяется на темплетях, вырезанных непосредственно из зоны пазов 2-х дисков. Установленный Российский аналог немецкого металла хромистая мартенситная сталь 20X13, с повышенным содержанием молибдена [1].

Растрескивание в пазах замков происходит в связи с недостаточным сопротивлением усталости металла при воздействии на стенки паза малоцикловых деформаций от не симметричного сжатия и высокочастотного комбинированного воздействия изгиба с кручением [2, 3]. Очагами разрушения служат острые кромки пазов дисков с транскристаллитными усталостными микротрещинами, переходящими в межкристаллитное растрескивание хрупкого металла (рис.2), где при работе компрессора реализуется максимальное значение концентрации напряжений в стесненных условиях двухосного комбинированного сжатия [2-5], развивающееся в сторону внешней поверхности обода диска (по шевронам в изломах).



Рис.2 Фрагменты изломов, образцов диска компрессора 7-й ступени

Измерениями, на стационарном оборудовании, установлены уровни значений твёрдости дисков компрессора: 3-й ступени - 238НВ, 7-ой ступени – 251НВ, что соответственно по шкале ВИАМ ориентировочно равно интервалу значений временного сопротивления  $\sigma_{\text{в}}=820\text{МПа}$  и 860 МПа. Такие значения свойств соответствуют состоянию термического улучшения хромистой стали 20X13 при заниженных значениях твердости стали диска 3-ой ступени и повышенных - стали диска 7-ой ступени, что косвенно подтверждается большим количеством разрушений в обода диска 7-ой ступени.

Микрошлифы изготовлены с участков металла дисков (в 3-х направлениях), непосредственно прилегающих к стенкам их пазов, с обеспечением типовых требований сохранности его технологической и эксплуатационной наследственности [4, 6]. Загрязненность металла дисков 3-й ступени: корундами, стеклами и силикатами недеформирующимися соответствует 3,а и 4,а баллам шкалы «СН» ГОСТ 1778, металла дисков 7-ой ступени компрессора аналогичными неметаллическими включениями - соответствует 4,а и 5,а баллам. На рис.3 показана часть от большого количества трещин, выявленных на микрошлифах. Крупные (сквозные) трещины имеют



межкристаллитную траекторию развития, а их окрестности хорошо протравлены. Тонкие трещины (еле видные при увеличениях  $\geq 200^{\times}$ , выделены стрелками) не протравливаются по берегам, что свидетельствует о стесненности деформации и отсутствии разгрузки металла. Это может указывать на наличие высоких технологических (внутренних) напряжений и способствовать увеличению фактической нагруженности металла ободной части дисков, повышая вероятность хрупкого растрескивания стенок пазов. Рис.3 также иллюстрирует и микроструктуру стали. Она состоит из троостита, троосто - сорбита (стали диска 7-ой ступени) или сорбита (стали диска 3-ей ступени), ориентированных по мартенситу и слабо видных границ бывшего крупного аустенитного (перегретого) зерна. Выявленные размеры мартенсита ( $\alpha^I$ ), исследованного металла дисков, намного крупнее и грубее предельного балла (№ 10), шкалы эталонов игольчатого или пластинчатого

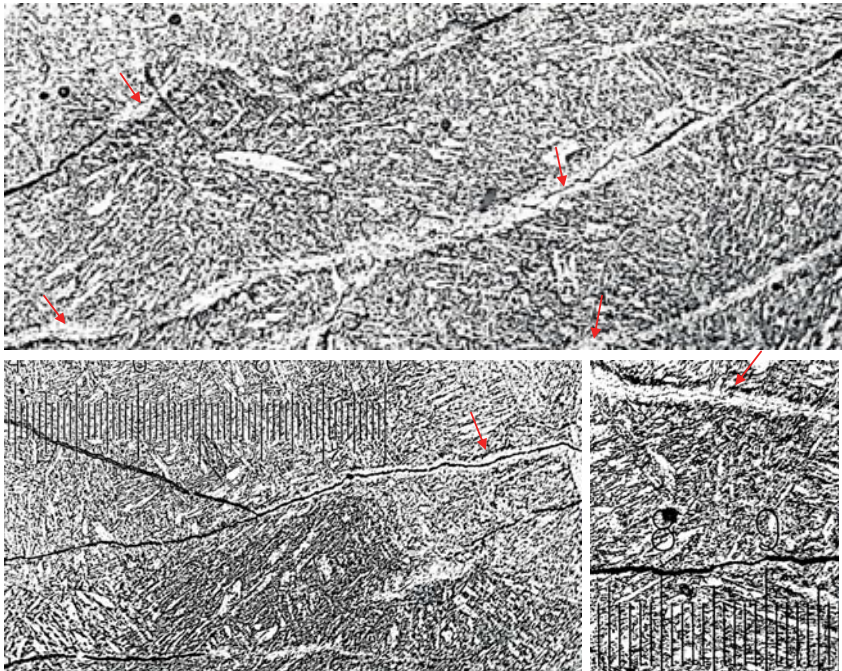


Рис.3 Микроструктура и трещины в зоне пазов дисков «ласточкин хвост»

мартенсита (табл. № 6 ГОСТ 8233). Фактический размер игл  $\alpha^I$  (54...60мкм) в 3 раза больше предельного по упомянутой шкале ГОСТ (равного 20мкм). По-видимому, закалка проведена с кратковременным интенсивным перегревом, а отпуск выполнен при пониженной температуре. В результате в металле при умеренной твердости зафиксирована очень грубая структура с малым запасом



пластичности, ударной вязкости, и низким сопротивлением усталости, -хрупкое состояние металла при наличии остаточных напряжений.

### **Выводы**

1. Исследуемый металл, в проблемных зонах, очень сильно загрязнен вредными включениями (до предельного балла по ГОСТ 1778), что увеличивает его склонность к повреждению.

2. Структура металла очень грубая превышает предельный балл размера игл мартенсита отпуска по ГОСТ 8233, (в 3 раза), характеризуется нарушениями термической обработки (браком) и, как следствие, высокой хрупкостью металла при недостаточной прочности и вязкости.

3. Берега не сквозных трещин не протравливаются, что может свидетельствовать о наличии значительных остаточных (технологических) напряжений. В результате увеличивается фактическая нагруженность стенок пазов дисков от воздействия замков рабочих лопаток в эксплуатации.

4. Основными причинами растрескивания стенок пазов дисков послужили выявленные металлургические и металловедческие дефекты металла, сильно уменьшая запас пластичности и сопротивление усталости.

### **Список литературы**

1. Ц.В. Вегст Ключ сталей. Справочник. Перевод. Изд. НовоИМ. ("St...Wegst /GMBH/ mbH" Дюссельдорф 1989г.) г. Красногорск. С.581.

2. Муратаев Ф.И. Исследование усталости материалов ГТД при комплексном нагружении и в связи с варьированием их термической обработки // Пластическое формообразование, упрочнение и усталостная прочность деталей авиационной техники: Межвузовский сб. Казань: КАИ, 1984. С.68-76.

3. Муратаев Ф.И., Шканов И.Н. Обоснование технологии обработки дисков компрессоров по характеристикам статического и циклического деформирования // Известия вузов «Авиационная техника», 1999, № 1. с. 43-47.

4. Муратаев Ф.И., Жаржанази М.А. Обеспечение конструкционной прочности титановых сплавов по критериям предельной пластичности и сопротивления усталости // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2013. №1. С.50-54.

5. Мак-Ивили А.Дж. Анализ аварийных разрушений. Москва: Техносфера, 2010.-416с.

6. Муратаев Ф.И., Хакимов С.Ш. Обоснование микроструктуры и соотношений характеристик прочности и пластичности титановых сплавов по критериям сопротивления усталости// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2014. № 3. С.110-113.

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ

Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Установлены закономерности структуры и свойств металла в результате сильного локального перегрева трубы в эксплуатации. Выявлено заметное повышение ударной вязкости и неизменившаяся пластичность стали при незначительном снижении характеристик прочности в структурном состоянии частичного распада (сфероидизации) перлита.

The regularities of the structure and properties of the metal resulting in a strong local overheating of the tube in operation. It noted a marked increase in toughness and ductility unchanged with a slight decrease of strength in the structural state of partial decay (spheroidization) perlite.

Ключевые слова: частичная сфероидизация перлита, свойства стали

В работе исследован металл (российский аналог стали 16ГС), подвергшегося длительному нагреву при температуре свыше  $625^{\circ}\text{C}$  локального участка трубопровода трансферной линии печи реформинга ВА – 101 с образованием «одулины» в процессе эксплуатации. Для реализации программы исследований вырезаны образцы металла: не поврежденного в эксплуатации (относительно холодного) участка трубопровода (они промаркированы № 1) и из зоны инцидента (сильно перегретой в течение длительного времени участка трубы) – соответственно далее, обозначенные № 2.

Измерениями установлены уровни средних значений твердости образцов: не поврежденной стали № 1 - 154НВ и перегретого металла № 2 – 137НВ. Твердость снизилась на 11%. Результаты испытаний образцов металла при статическом растяжении получены на основе построения диаграмм деформирования и приведены в таблице 1. Браковочных признаков в изломах нет. Результаты испытаний образцов удовлетворяют техническим требованиям ГОСТ 19281 к стали 16ГС по характеристикам прочности и пластичности. Эксплуатационный перегрев металла образцов №№ 2.2 и 2.3 снизил временное сопротивление при  $t = 23^{\circ}\text{C}$  на 37...44МПа, что составляет в среднем ~9%. Относительное удлинение и равномерное относительное сужение ( $\varphi_r$ , соответствующее  $\sigma_b$ ) при этом повысились незначительно, соответственно на 5% и 4%, относительное сужение практически не изменилось. Фактическое состояние исследованного металла по уровням  $\sigma_{0,2}$  на перегретом участке №2 удовлетворяет требованиям ГОСТ 19281 к сталям классов прочности КП 295, а металл не поврежденного в эксплуатации участка трубопровода (№1) – требованиям к сталям КП 315. По уровням временного сопротивления состояние стали обоих участков при нормальной температуре соответствуют классу прочности КП 325. Это свидетельствует

Результаты определения механических свойств аналога стали 16ГС при растяжении в условиях нормальной и повышенной температурах

Таблица 1

№, п.п.	$T_{исп}$	$\sigma_B, \sigma_{780}^B$	$\sigma_{0,2}$ и $\sigma_{780}^{0,2}$	$\delta, \delta^f$	$\psi_P, \psi_P^f$	$\psi, \psi^f$	НВ, МПа $\times 10^{-1}$	Браковочные признаки
	$^{\circ}C$	МПа		%				
1.1	780	83	-	33,0	15,0	89	-	нет
2.1	780	80	-	37,0	15,3	89	-	нет
1.2	23	509	322	23,8	12,9	70	156	нет
1.3	23	496	321	23,9	13,0	77	152	нет
2.2	23	456	295	25,3	13,7	77	135	нет
2.3	23	459	297	25,0	13,2	73	139	нет
ГОСТ 19281	20	(КП325) 450	КП 295, КП 315	>21	-	-	-	нет

об относительно высоком уровне  $\sigma_B$  поврежденного и не поврежденного металла участков трубопровода. Испытания не поврежденных и поврежденных образцов металла соответственно: № 1.1 и № 2.1 при статическом растяжении в условиях повышенной температуры  $t = 780^{\circ}C$  проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 9651. Браковочных признаков в изломах нет. Получены практически очень близкие по величине значения прочности и пластичности (в т.ч. равномерное относительное сужение  $\psi_{780}^P$ , соответствующее  $\sigma_{780}^B$ ) на образцах стали: № 1.1 и перегретом металле - № 2.1. (см. табл.1). Уровень  $\delta_{780}^B$  проблемного металла выше на 12%.

Испытания образцов металла на ударный изгиб при нормальной и повышенной температурах, выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78. Результаты представлены в таблице 2. Значения ударной вязкости

Результаты определения ударной вязкости стали 16ГС в условиях нормальной и повышенной температурах

Таблица 2

№, п.п.	Участок трубы	Температура, $^{\circ}C$	В, мм	Н, мм	КС, кг*м	КСУ, КСУ $^{750}$ Дж/см $^2$
1.1	Холодный 154НВ	23	10,4	7,8	20	242
1.2		23	10,4	8,0	19,7	233
1.3		750	10,3	7,8	19	232
1.4		750	10,4	7,8	18,6	229
ГОСТ 19281		КП 265...КП 325		(20 ОС)	КСУ >59...98 Дж/см $^2$	
2.1	Горячий 137НВ	23	10,2	7,9	24	299
2.2		23	10,2	7,9	19,7	240
2.3		23	10,3	7,5	21,5	279
2.4		23	10,3	7,8	23,4	291
2.5		750	10,2	7,9	18,2	225
2.6		750	10,2	7,9	18,2	225

всех образцов металла очень высокие, они удовлетворяют техническим требованиям ГОСТ 19281 к полуфабрикату из стали 16ГС классов прочности КП 265 – КП 325. Эксплуатационный перегрев металла образцов № 2.1 - № 2.4 повысил ударную вязкость при нормальной температуре на 37...58 Дж/см<sup>2</sup>, т.е. увеличил на 20%, а при 750<sup>o</sup>С (образцы № 2.5, № 2.6) снизил незначительно (на 7Дж/см<sup>2</sup>). В результате анализа механических свойств проблемного и неповрежденного участков металла трубопровода установлено: наиболее ущербным критерием по регламенту свойств стали 16ГС является условный предел текучести. Эксплуатационный перегрев практического негативного влияния на работоспособность металла по характеристикам прочности, пластичности и ударной вязкости, не оказал.

Структура неповрежденного перегревом металла, образец № 1, мелкозернистая строчечная, соответствует 9, 10-му баллам шкалы зернистости ГОСТ 5639 (рис.1, а-в), меньше проработана во внутренней и наружной частях толщины стенки. Она состоит из деформированного перлита и полиэдрического феррита (рис.1 а, б), соответствует 2 - 4-му баллам шкалы № 3 ряда «Б» полосчатости ферритно-перлитной структуры ГОСТ 5640. С внутренней стороны стенки трубопровода структура стали представлена соотношением перлита к ферриту 20/80 по шкале № 7 ГОСТ 8233 и частично рекристаллизована (рис.1,в). Микроструктура стали участка трубы поврежденного перегревом характеризуется частичным распадом перлита по всей толщине стенки, состоит из феррита ( $\alpha$ ) и отдельных мелких кристаллов цементита  $(Fe, Mn)_3C$  (рис.2). По шкале № 1 ГОСТ 5640 соответствует 2 - 4-му баллам ряда «Б» структурно свободного цементита. По шкале № 2 ряда «Б» сорбитообразного перлита соответствует 2 - 4-му баллам (рис.2,а-в). ОСТ 34-70-690-96, разработанный ВТИ применительно

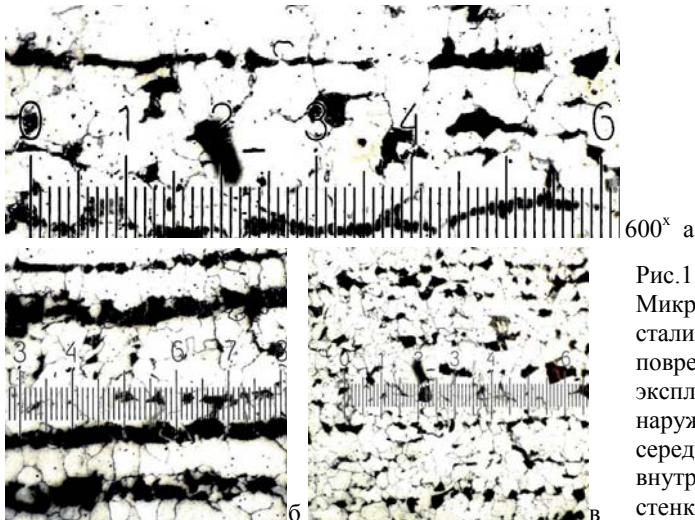


Рис.1  
Микроструктура  
стали трубы, не  
поврежденной в  
эксплуатации с  
наружной (а),  
серединной (б, ) и  
внутренней (в,) зон  
стенки

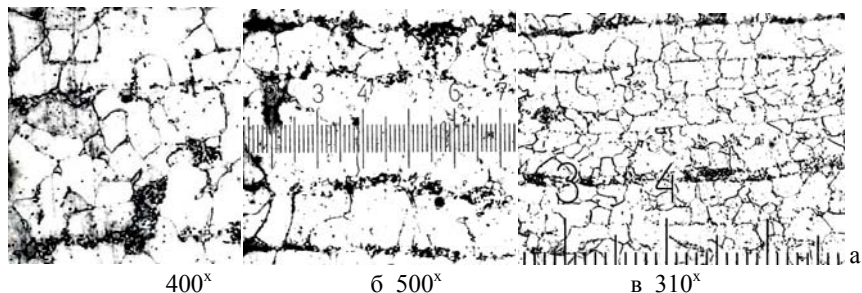


Рис.2 Микроструктура металла на участке интенсивного перегрева трубопровода с наружной (а) внутренней (б) и серединной (в) зон стенки

к условиям эксплуатации паросилового оборудования электростанций, характеризует степень повреждения металла 3, 4-м баллами шкалы «Е» распада перлита на сфероидальные выделения цементита в  $\alpha$ - фазе [1]. Рис.5 иллюстрирует значительную дифференцированность перлита и наличие самостоятельных сфероидов цементита в феррите. Это считается браковочным признаком для поверхностей нагрева [1-3], поскольку в результате полной сфероидизации перлита имеет место растрескивание сварных соединений [2], развивается межзеренная хрупкость, снижение характеристик пластичности и разрушение обечаек реакторов и коксовых камер [3]. Вместе с этим, имеются работы [4-8], в которых отмечаются случаи улучшения характеристик пластичности, вязкости и усталости в т.ч. и титановых сплавов при образовании мелкозернистой структуры вторичных фаз. Однако в большинстве из них [2, 4-7], отсутствует количественная оценка влияния степени распада перлита на служебные свойства. По - этому, очень важен установленный факт – частичный распад перлита несколько повышает пластичность и заметно увеличивает ударную вязкость стали.

### Список литературы

1. ОСТ 34-70-690-96 Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации // Металл паросилового оборудования электростанций - М.: ВТИ, 1997.- 44 с.
2. Муратаев Ф.И. Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Выпуск. 3. С. 84–89.
3. Горичкий В.М. Диагностика металлов. - М.: Металлургиздат, 2004.-408 с.
4. Мартин Д.В. Краткая энциклопедия по структуре материалов. - Москва: Техносфера, 2011.-608 с.
5. Муратаев Ф.И. Адаптация методики преподавания к требованиям ФГОС ВПО для повышения профессиональных компетенций студентов-материаловедов // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 1. С. 194-197.

6. Пахомов В.С., Шевченко А.А. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. - М.: Химия. Колос, 2009.-444 с.

7. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2015. №3. С.119-125.

8. Муратаев Ф.И., Жаржаназы М.А. Обеспечение конструкционной прочности титановых сплавов по критериям предельной пластичности и сопротивления усталости // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2013. №1. С.50-54.

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ МАССИВНОГО ЯНКИ-ЦИЛИНДРА ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА**

Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Определены причины разрушения массивного «Янки-цилиндра» из серого чугуна, обусловленные некачественной структурой. Требуемые служебные характеристики Янки – цилиндра обеспечены коррекцией состава металла и технологии литья в КНР на основе обоснования необходимых структурных состояний.

The required service characteristics of the yankee-cylinder provided correction of the composition of the metal and casting technology in PRC on the basis of justification necessary structural condition.

Ключевые слова: браковочные признаки структуры литого цилиндра

В работе исследованы образцы металла разрушенного лощильного Янки-цилиндра SX366.7-А, изготовленного фирмой «DANDONG SHENGXING PAPER MACHINERY CO., LTD» (КНР). Целью работы является исследование качества металла, отечественного аналога серого чугуна марки СЧ30, выявление причин разрушения корпуса изделия, разработка мероприятий по совершенствованию состава и технологии металла агрегата для обеспечения требуемой работоспособности (рис.1).





Рис.1 Характер излома корпуса (а) и примеры макродефектов литья (б)

Макроскопическим анализом установлено: излом корпуса хрупкий по всей образующей цилиндра, раскрытие трещины  $\sim 13$  мм; выявлены внутренние дефекты литья: поры, пустоты, неслитины размерами от единиц до десятков мм; - обнаружены инородные включения и зональная макроликвация (химическая неоднородность), которая ниже подтверждена микроанализом. Упомянутые дефекты указывают о низком качестве литейного производства.

На основании измерения твёрдости установлен существенный разброс значений с интервалом  $\text{HV}_{195} \dots 255 \text{MPa} \cdot 10^{-1}$ . Это косвенно свидетельствует о существенной неоднородности металла и его невысоком качестве. Средние значения полученных данных приведены в табл.1. Основные результаты определения поэлементного состава и механических свойств исследованного металла также сведены в таблице 1. Анализ полученных результатов и требований к аналогичным данным чугуна марки СЧ30, указанным в ГОСТ 1412-85 свидетельствует о недостаточном содержании общего углерода ( $\text{C}=2,83\%$  по данным хим. анализа) и превышении Mn в исследованном металле. При данных количествах (отбеливающих) Cr и Mn явно недостаточно графитизирующих C и Si. По сравнению с чугуном СЧ25 кремния недостаточно и в связи с требованиями ГОСТ 1412. Для определения механических свойств используются цилиндрические образцы. Характерные изломы – хрупкие разрушения. Получены низкие значения временного сопротивления ( $\sigma_B=269 \text{MPa}$ ). Следовательно, о несоответствии металла корпуса марке чугуна СЧ30 свидетельствует также и его заниженная прочность.

Идентификация химического состава и механических свойств исследованного чугуна с требованиями ГОСТ 1412-85

Таблица 1

Объект	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	$\sigma_B$	$\text{HV} \cdot 10^{-1}$
	%								МПа	МПа
Образец	<b>2,83</b>	<b>1,2</b>	<b>1,25</b>	0,03	0,04	<b>0,27</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>269</b>	233
ГОСТ 1412, СЧ25	3,2.. ..3,4	0,7.. ..1,0	1,4.. ..2,2	$\leq$ 0,15	$\leq$ 0,2	0,5*.. 1,2*	0,4*.. ..1,0*	0,3*.. ..0,5*	$\geq 245$	180.. ..250
ГОСТ 1412, СЧ30	3,0.. ..3,2	0,7.. ..1,1	1,0.. ..1,3	$\leq$ 0,12	$\leq$ 0,2	0,5*.. ..1,2*	0,4*.. ..1,0*	0,3*.. ..0,5*	$\geq 294$	181.. ..255



Металлографический анализ показал (рис.2), металл корпуса цилиндра изобилует множеством макро и микродефектов несплошности, что свидетельствует о литейном браке. Протяжённость графитных включений соответствует баллу (9) ПГд900 (шкалы табл.2) десяти бальной шкалы ГОСТ 3443-87 (рис.2), что близко к предельно худшему (ПГд1000) и обуславливает низкие механические свойства. Микроструктура переохлаждённого металла представлена пластинчатым графитом, ледебуритом и цементитом и ничтожно малого количества графита (рис.2), что характеризует чугун как половинчатый, недопустимого качества в ответственной технике не применяется [1, 2]. Она иллюстрирует существенную зональную ликвацию, нерастворённые в процессе плавки химические соединения. Это может

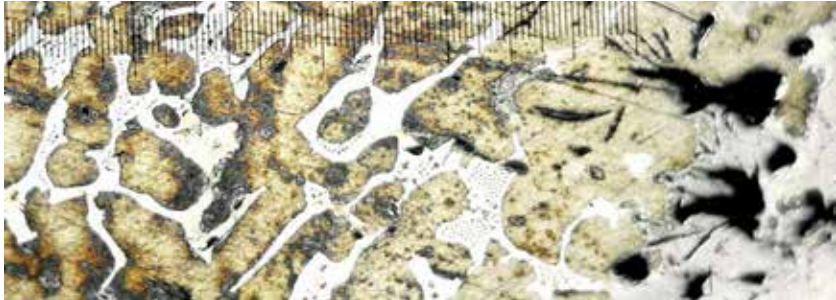


Рис.2 Микроструктура половинчатого чугуна, интенсивная зональная ликвация

свидетельствовать о некорректном модифицировании или его отсутствии, а также чрезвычайно высокой (недопустимой) скорости охлаждения при литье корпуса. Следует отметить, что отбеленный чугун более чувствителен к теплосменам из-за большего коэффициента теплового расширения. Такие участки корпуса могли и послужили очагами разрушения при теплосменах. Рис.3 иллюстрирует образование очагов разрушения на участках ледебурита и вторичного цементита. Представленная структура свидетельствует так же об отсутствии термической обработки, необходимой для снятия внутренних (остаточных) напряжений [2 - 4]. Для решения задач должной несущей способности Янки-цилиндра были скорректированы требования микролегирования чугуна и технологии получения массивных отливок в КНР. Результаты исследований состава и механических свойств образцов модифицированного металла приведены в табл. 2. Из нее следует не полное соответствие состава металла образцов условиям ГОСТ 1412 к чугуну СЧ30. Так содержание углерода образца №11 занижено на 0,3%, количество кремния образца №26 завышено на 0,66% и наличие Mn и Si образца №21 завышено соответственно на 0,22% и 0,45%. Однако, учитывая, что эти компоненты взаимно компенсируют состав чугуна по графитизации можно



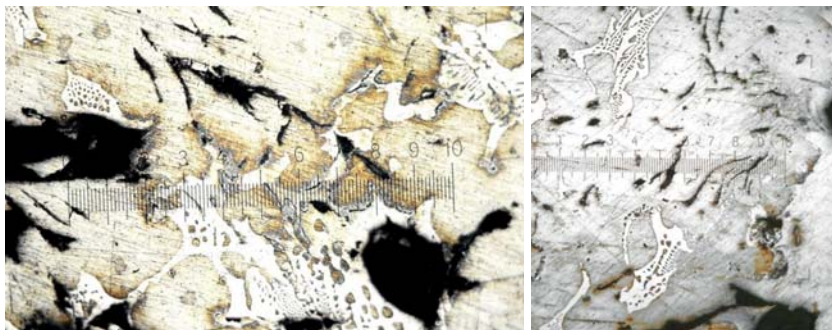


Рис.3 Микроструктура поврежденных участков корпуса лощильного цилиндра

Идентификация химического состава и механических свойств модифицированного чугуна (нового агрегата) с требованиями ГОСТ 1412-85

Таблица 2

Янки новый	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	$\sigma_B$	HB·10 <sup>-1</sup>	$\sigma_{и}$	
	%								МПа	МПа	МПа	
корпус	<b>2,7*</b>	1,05	1,20	0,03	0,02	0,4	0,5	0,3	274	167-177	-	
№11 корпус	-	-								330	229... ..257	699
№ 21лп крышка	<b>* 2,97</b>	<b>1,32</b>	<b>1,75</b>	0,04	0,08	0,03	0,05	0,08	269	151	699	
№ 26лп крышка	<b>* 3,08</b>	0,92	<b>1,96</b>	0,05	0,06	0,03	0,35	0,09	278	180	1012	
ГОСТ 1412 СЧ30	<b>3,0...3,2</b>	0,7.. ..1,1	1,0.. ..1,3	≤ 0,12	≤0,2	-	-	-	≥294, ≥195	≤187	-	

считать такое несоответствие требованиям ГОСТ 1412 формальным. Результаты определения временного сопротивления при статическом растяжении согласуются с ограничениями «Приложения 1» ГОСТ 1412. В изломах образцов металлургических дефектов не обнаружено. Одинаковый уровень прочности образцов при изгибе №№ 11 и 21  $\sigma_{и}$ =699МПа косвенно свидетельствует об эквивалентной степени их повреждённости в сопоставлении с уровнем прочности образца №26. Металл различных участков отливок (припуск, проба и литник) отличается большим структурным разнообразием: как по размерам графитовых включений, так и металлической составляющей структуры. От ферритно-перлитной (рис.4) до половинчатой с небольшими включениями элементов отбела (ледебурита и цементита) в литниковой части (рис.5).



Рис.4 Микроструктура металла крышки лицевой (образец №26 припуск) x420

Микроструктура металла припусков корпуса и крышек типовая, состоит из феррита перлита и графита, браковочных признаков не имеет. Протяжённость графита лицевой SC-7-26 и приводной SC-7-21 крышек составляет ПГд180 и ПГд90, что соответствуют 5 и 4 баллам шкалы табл.2 ГОСТ 3443-87. Длина включений пластинчатого графита корпуса SC-7-11 соответствует обозначению упомянутой шкалы ПГд140.

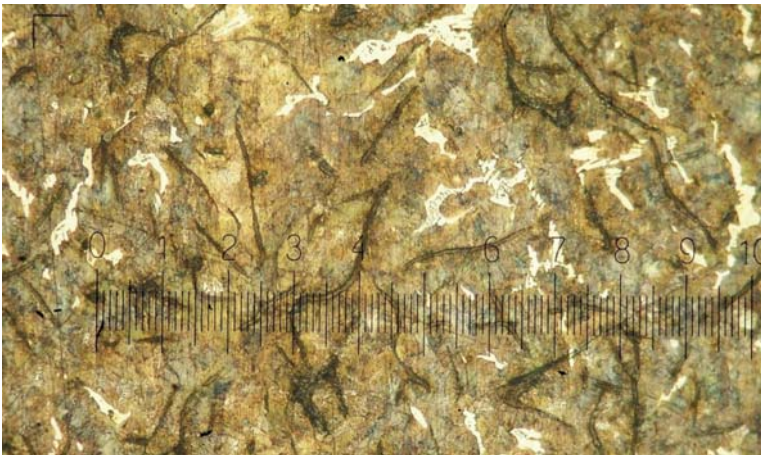


Рис.5 Микроструктура металла литника корпуса (x570)

Таким образом, проведенный комплекс исследований качества металла и мероприятия по совершенствованию его состава и технологии получения массивных отливок в КНР обеспечили удовлетворительные характеристики механических свойств и структурных состояний. Что подтверждается эксплуатационной практикой работы «Лошильного Янки – цилиндра» в ЗАО «Агротехмашстройсервис».

#### Литература:

1. Ц.В. Вегст Ключ сталей. Справочник. Перевод. Изд. НовоИИМ. ("St. Wegst /GMBH/ mbH" Дюссельдорф 1989г.) г. Красногорск. .581.

2. Ф.И. Муратаев Адаптация методики преподавания к требованиям ФГОС ВПО для повышения профессиональных компетенций студентов-материаловедов. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 1. С.194-197.

3. А.П. Гуляев "Металловедение", Москва "Металлургия", 1986 г.

4. Конструкционные материалы: Справочник под редакцией Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990г.

УДК 621.77.016.2: 669.55

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗНОСА МЕТАЛЛОПРОВОДОВ ГОРЯЧЕКАМЕРНЫХ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ**

Мухаметзянова Гульнара Фагимовна, Колесников Михаил Семёнович,  
Мухаметзянов Ильнар Ринатович, Асташенко Владимир Иванович

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А

**Аннотация.** Установлены причины и кинетика износа металлопроводов горячекамерных машин литья под давлением цинковых сплавов. Повышение стойкости деталей металлопроводов достигается применением штамповой стали марки ДИ – 22 в вариантах электрошлакового и электронно-лучевого переплавов, а также после азотирования и борирования.

**Ключевые слова:** металлопровод, сталь, интерметаллиды, цинковый сплав.

**Abstract.** The causes of kinetics of wear metal wires hot chamber die casting machines zinc alloys. Increasing resistance is achieved by using parts metal wires die steel CI - 22 in the embodiments of electroslag and electron beam melting, and after nitrogen hardening and boriding.

**Key words:** metal wires, steel, intermetallic compounds, zinc alloy.

При литье цинковых сплавов (марки: ЦАМ - 4-1, ЦАМ - 10-1 и др.) наиболее нагруженными деталями пресс-узлов горячекамерных машин литья под давлением типа CLT и IDRA являются детали металлопроводов. Данные эксплуатационных испытаний, проведенных на ПАО «КамАЗ», свидетельствуют о том, что работоспособность элементов металлопроводов машин IDRA, изготавливаемых из стали 4Х5МФС, не превышает 2,5% от средней стойкости пресс-форм машин цинкового литья под давлением. Металлопроводы эксплуатируются при температуре цинковых расплавов 723±15К. Высокая физико-химическая активность взаимодействия цинковых расплавов со сталями оказывает первостепенную роль на процессы износа металлопроводов, связанные с растворением внутренних каналов деталей металлопроводов[1 - 3]. Следовательно, исследование процессов износа

металлопроводов горячекамерных машин литья под давлением цинковых сплавов с целью повышения их стойкости является актуальной задачей.

Для получения количественных закономерностей по оценке повреждаемости внутренних каналов металлопроводов исследовались образцы в виде шайб, устанавливаемых в центральной части мундштуков. Исследуемые шайбы имели следующие размеры: наружный диаметр – 30мм; внутренний диаметр – 20мм; толщина шайб – 5мм. Интенсивность растворения оценивалась по потере веса шайб, отнесенного к единице поверхности ( $\Delta P$ ,  $г/см^2$ ) в течение установленной базы испытаний ( $n = 1 \div 3\ 000$  циклов с интервалами 100 циклов). Результаты испытаний по кинетике растворения рабочих поверхностей металлопровода представлены на рис. 1. Ход кривой  $\Delta P = f(n)$  свидетельствует о сложной зависимости растворимости стали 4Х5МФС на различных стадиях эксплуатации. Условно можно выделить 4 характерных этапа анализируемого процесса. На I этапе ( $n \leq 100$  циклов) растворимость стали в расплаве ЦАМ-4-1 увеличивается незначительно. Наблюдаемый инкубационный период связывается с повышенной сопротивляемостью растворению окисной пленки на поверхности металлопровода. На II этапе ( $n > 100$  циклов) установлено резкое увеличение скорости растворения. В интервале  $n \approx 500-700$  циклов (III этап) скорость растворения замедляется. На IV этапе ( $n > 3000$  циклов) вновь отмечается интенсификация растворения рабочих поверхностей металлопровода.

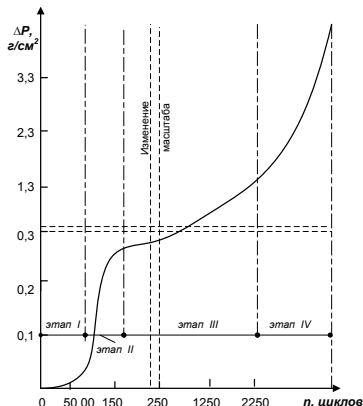


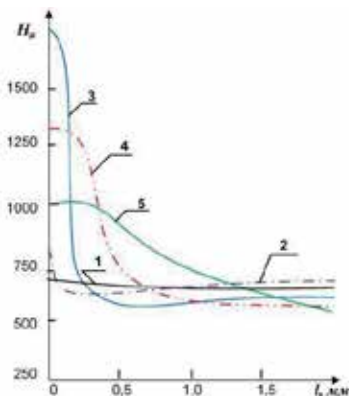
Рис. 1 – Кинетика растворения поверхности металлопроводов из стали 4Х5МФС в расплаве ЦАМ - 4 - 1 при 723 К.

Металлографическими и рентгеноструктурными исследованиями, выполненными на установке ДРОН – 3, установлено формирование на контактных с расплавом поверхностях канала мундштуков переходного слоя, состоящего из интерметаллидных фаз  $FeAl_3$ ,  $Fe_2Al_5$ ,  $Fe_3Zn_{10}$ , (II этап) [4]. Идентификация интерметаллидных фаз осуществлялась по характеристическому излучению путем сканирования импульсов на косых

срезах шлифов. Строение слоя характеризуется наличием ряда дефектов в виде пор, разрывов и трещин и высокой микротвердостью  $H_u \sim 1800$ , (кривая 3, рис. 2).

По мере увеличения  $n$  до 1000 циклов интерметаллидная прослойка образует сплошное покрытие толщиной  $\sim 0,08$ мм. Присутствие указанных интерметаллидных фаз обуславливает повышенное сопротивление растворению, (III этап). Дальнейшее накопление циклов ( $n > 1000$ ) мало влияет на толщину переходного интерметаллидного слоя в системе «сталь – расплав». Вместе с тем, отмечается некоторое снижение микротвердости (кривая 4, рис. 2), что связывается с образованием в слое интерметаллидов новой природы ( $Fe_3Zn_2$ ,  $FeZn_7$ ,  $FeZn_{13}$ ). Сообразно, количество интерференционных линий, отвечающих железо – алюминиевых интерметаллидов типа  $FeAl_3$  и  $Fe_2Al_5$  уменьшается. К концу рассматриваемого этапа ( $n \sim 1300$  циклов) толщина слоя увеличивается, а микротвердость заметно снижается (кривая 5, рис. 2). Одновременно отмечается увеличение скорости растворения рабочей поверхности канала металлопровода с исчезновением железо - алюминиевых интерметаллидов.

Рис. 2 – Изменение микротвердости в поверхностном слое материала металлопровода из стали 4Х5МФС при взаимодействии с расплавом ЦАМ-4-1



при 723 К: кривая 1 – исходное состояние; кривые 2,3,4 и 5 после 5, 120, 1000,1300 циклов прессования соответственно.

Полученные результаты позволяют дополнить имеющиеся представления о причинах, обуславливающих на практике один из распространенных видов технических отказов (потеря размера канала и связанную с этим опасность разрушения металлопроводов или пробрызгивания расплава в местах сопряжения деталей конструкции), а также реализовать ряд прикладных решений, направленных на увеличение стойкости элементов металлопровода.

Наряду с широко применяемой для изготовления металлопроводов сталью 4Х5МФС исследованию подвергались стали марок 5Х4СВ4МФ, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС, а также сталь 4Х4ВМФС (ДИ – 22) электрошлакового (ЭШП) и

электронно-лучевого переплавов (ЭЛП) и упрочнение химико-термической обработкой (табл. 1). По показателю растворимости ( $\Delta P$ ,  $г/см^2$ ) перспективными для изготовления деталей металлопроводов машин литья под давлением цинковых сплавов (из числа исследованных материалов) является сталь 4Х4ВМФС (ДИ – 22). Резерв повышения работоспособности деталей металлопроводов машин литья под давлением по анализируемым данным заключен в применении материала повышенной металлургической чистоты. Стойкость образцов против растворения в ЦАМ -4-1 из стали 4Х4ВМФС после электрошлакового и электронно-лучевого переплавов в среднем в 2,1 и 2,5 раза выше, чем после обычной электродуговой плавки. Применение химико-термической обработки (азотирования и борирования) позволяет значительно повысить работоспособность металлопроводов (табл. 1)

Таблица 1– Стойкость против растворения инструментальных сталей в расплаве ЦАМ-4-1 (температура расплава – 723К, база испытаний,  $n = 3000$ циклов).

Марка стали	Режим термической обработки		Твердость, НРС, НВ	Упрочняющая обработка	Твердость, НВ	Относительная стойкость против растворения в расплаве ЦАМ-4-1
	$T_{зак}$ , К	$T_{отп}$ , К				
4Х5МФС	1313	853	50-53			1
5Х4СВ4МФ	1393	873	52-54			1,28
4Х4ВМФС (ДИ – 22)	1333	853	50-53			1,2
5Х3В3МФС	1393	873	52-54			1,32
4Х4МФС (ЭШП)	1333	853	50-52			2,52
4Х4МФС (ЭЛП)	1333	853	50-52			3,0
4Х4ВМФС	1333	853	50-52	Азотирование, 833К – 8 час., 803К – 16 час. Глубина сл. 0,18 – 0,21мм	860 - 880	4,4
4Х4ВМФС	1333К (отжиг – 2 часа)		160-180НВ	Борирование, 30%B <sub>4</sub> C, 60%Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> , 10%SiC, 1173К – 30час. Глубина сл.0,1 – 0,12мм	180 0	4,27

## Литература.

1. Горюнов И. И. Пресс-формы для литья под давлением. Справочное пособие. Л., «Машиностроение», 1973. 256 с.
2. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Технология литейного производства. Специальные виды литья / Под. ред. В.А. Рыбкина. –3-е изд. – М.: Академия, 2008. – 352 с.
3. Никитин В. И. Физико-химические явления при воздействии жидких металлов на твердые. М.: Атомиздат, 1967. 422 с.
4. Рабкин Д.М., Лозовская А.В. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. Киев: Наукова думка, 1992. – 160 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Мухаметзянова Гульнара Фагимовна, Карих Феликс Гансович  
Мухаметзянов Ильнар Ринатович

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423812, г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А

**Аннотация.** Представлен способ повышения точности спектрального анализа газовых потоков в технологии машиностроения за счет контроля химического состава отходящих газовых потоков посредством шестиструйного электродугового плазматрона.

**Ключевые слова:** спектральный анализ, точность, газовый поток, плазматрон.

**Abstract.** The method of increasing the accuracy of the spectrum analysis of gas streams in mechanical engineering by controlling the chemical composition of the exhaust gas streams through six-string electric arc plasmatron was submitted.

**Keywords.** spectrum analysis, precision, gas stream, plasmatron.

В технологии машиностроения для обеспечения качества технологического процесса производства изделий широко применяется контроль химического состава с использованием различных методов: химического, рентгеноспектрального, эмиссионного спектрального анализа. Одним из наиболее распространенных и экспрессных является эмиссионный спектральный анализ. В мировой практике повышения точности атомно-эмиссионного спектрального анализа отходящих газовых потоков достигают применением различного типа плазматронов. Их недостатком является низкая эффективность проникновения частиц в плазму, отбрасываемых из зоны высоких температур. Этого недостатка лишен высоковольтный шестиструйный факельный разряд, характеризующийся высокоэффективным газодинамическим захватом подводимых частиц. Однако,

он характеризуется недостаточно высокой температурой возбуждения –  $4\ 800^{\circ}\text{C}$  [1 – 3].

Цель работы – повышение точности атомно-эмиссионного спектрального анализа материалов за счет контроля химического состава отходящих газовых потоков, образующихся в процессе производства изделий или при непосредственном контроле их химического состава.

Для достижения указанной цели предлагается применение нового генератора плазменного потока – шестиструйного электродугового плазмотрона [4], позволяющего обеспечить управление температурой потока плазмы в интервале  $6\ 000^{\circ}\text{C}$  –  $12\ 000^{\circ}\text{C}$ . С целью решения поставленной задачи разработана физическая модель шестиструйного электродугового плазмотрона, позволяющего использовать такой интервал температур в качестве источника возбуждения спектра газового потока при высокоэффективном захвате его частиц.

Вид шестиструйного электродугового плазмотрона представлен на рис.1,2.

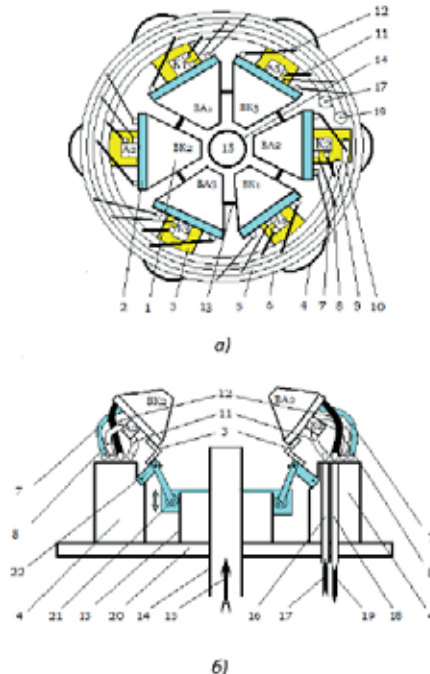


Рис. 1 – Схема шестиструйного электродугового плазмотрона, а) вид сверху; б) вид сбоку: 1 – медные головки; 2 – плато; 3 – кронштейны; 4 – трубчатые стойки; 5, 6, 9, 10 – камера; 7, 8, 11, 12 – шланги; 13, 14 – патрубков; 15 – порошок; 16, 17, 19 – канал; 20 – монтажный стол; 21 – шарнирная система; 22 – плато.



Плазмообразующие медные головки 1, смонтированные на диэлектрических плато 2, жёстко присоединены к кронштейнам 3 с возможностью перемещения вдоль осей головок 1 в направлении перпендикулярном относительно трубочатых стоек 4. Над ними кольцеобразно размещены трубочатая камера 5 подачи в головки аргона, защищающего электроды от окисления и камера 6 распределения рабочего газа (воздуха) посредством гибких шлангов 7.

Подача защитного газа к медным анодам с контактами А1, А2, А3 и вольфрамовым катодам с контактами К1, К2 и К3 осуществлена посредством гибких шлангов 8. Над стойками 4 аксиально камерам 5 и 6 размещены камера 9 ввода охлаждающей воды и камера 10 сброса воды в канал 19. Ввод охлаждающей воды в секции головок осуществлён из вертикального канала 17 (см. рис. 2, где приведен вертикальный разрез плазматрона по плоскости, проходящей через оси пары головок, запитанной от одной из фаз используемого трёхфазного выпрямителя, в частности, подключенной к анодной головке с электродом А2 с вспомогательным катодом ВК2 и катодную головку с катодом К2 со вспомогательным анодом А2). Рядом с кольцевой камерой 9 размещена камера 10 сброса воды в канал 19. Связь камер 9 и 10 с секциями головок осуществлена посредством гибких шлангов 11 и 12.

Разогретый в процессе работы плазматрона водяной поток 19 направлен для охлаждения в радиатор (на рис. 2 он не показан), из которого охлаждённая вода возвращена в канал 16. Стойки 4 расположены на монтажном столе 20, между которыми жёстко смонтирован патрубок 14, формирующий анализируемый газовый поток или обрабатываемый порошковый материал 15 [5].



Рис. 2 – Шестиструйный электродуговой плазматрон.

Аксиально патрубку 14 смонтирован цилиндр 13, обеспечивающий синхронность изменения угла схождения шести головок посредством шарнирной системы 21, обеспечивающей синхронное изменение угла наклона

головок относительно плоскости стола 20. В составе системы 21 содержатся плато 22 с монтируемыми на них подвижно кронштейнами 3, обеспечивая изменение величины межэлектродного промежутка между плазмообразующими головками плазматрона.

Как следует, из рис. 2, при использовании данной физической модели в качестве источника возбуждения спектра поток плазмы направляется вертикально вверх.

В настоящее время опытно-промышленный плазматрон изготовлен и планируется к вводу в эксплуатацию на ПАО «КамАЗ – Металлургия» для контроля качества приготовляемого сплава в реальном времени [6].

### Литература.

1. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд., 3 - е изд., перераб. и доп. В 3-х томах. Т.1. Методы испытаний и исследования/ Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта – М.: Металлургия, 1983. - 352 с.

2. Карих Ф.Г., Мухаметзянова Г.Ф., Петров Д.М. Установка для контроля химического состава газовых потоков, образующихся при пиролизе твердых органических материалов // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 5. С. 147 – 148.

3. Карих Ф.Г., Мухаметзянова Г.Ф., Петров Д.М. Непрерывный контроль плавки по составу отходящих газов в пирометаллургии / Ф.Г. Карих, Г.Ф. Мухаметзянова, Д.М. Петров // Металлургия машиностроения. – 2003. – №2. – С. 2 - 3.

4. Патент № 2529740 РФ. МПК H05H1/26. Электродуговой шестиструйный плазматрон / Ф.Г. Карих, А.Ф. Карих, В. С. Попроцкий, Р.В. Попроцкий. - № 2013129645/07; заявл. 27.06.2013; опубл. 27.09.2014. Бюл. № 27.

5. Патент № 2375687 РФ. МПК G01J 3/00 (2006.01) G01F 13/00. Способ и устройство подачи порошковых материалов в высоковольтный факельный разряд. / Ф.Г. Карих, Р.А. Бикулов, Р.Н. Абдрахманов. – № 2008118262/28; заявл. 07.05.2008; опубл. 10.12.2009. Бюл. № 34.

6. Карих Ф.Г. Методология определения физико-химических параметров плавки металлов на основе спектроаналитических данных. дис. на соискание учёной степени доктора технических наук / Ф. Г. Карих; Юж.-Урал. гос. ун-т. Челябинск, 2004. – 310 с.

УДК 676.1

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Низамиев Айрат Юнисович\*\**, *Саетишин Айдар Айратович\**,  
*Юсупов Фархад Тимурович\*\**, *Борбузанов Виталий Геннадиевич\*\**,  
*Матухин Евгений Леонидович\*\**, *Косточко Анатолий Владимирович\**

*\*\*ФКП «Казанский государственный казенный пороховой завод», тел.  
(843)-554-34-20, т/ф (843)-554-40-14*

*\*Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений. Казанский  
национальный исследовательский технологический университет. г. Казань,  
420015, Республика Татарстан. Россия ул. Карла Маркса, 68.*

**Аннотация.** *В статье рассматривается проблема математического и компьютерного моделирования технологических процессов в производстве пороходелия.*

**Annotation.** *The problem of mathematical modeling of processes in the production of porohodeliya.*

**Ключевые слова:** *моделирование, математическое описание, технологическое производство*

В России математическое моделирование активно развивается с конца 1950-х – начала 1960-х гг. Многочисленные модели физиологических процессов охарактеризовали приход второго поколения моделей процессов жизнедеятельности, использовавшихся для исследования процессов управления искусственными системами. Развитие тренажерных моделей (в том числе – мультимедийных) характеризует начало третьего этапа. Модели третьего поколения по своей математической сущности могут быть как феноменологическими, так и системными. В настоящее время начинается переход к очередному поколению математических моделей – моделями виртуального мира. Виртуальное моделирование можно определить как воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами [1].

В данной работе представлены подходы к математическому моделированию технологических процессов в производстве целлюлозы и ее эфиров. Оптимизация современного производства составляют технологические системы, имеющие сложную структурно-функциональную организацию. Объектом управления в этих системах являются конкретные технологические процессы, а именно: разволокнение целлюлозы, этерификация целлюлозы, стабилизация нитратов целлюлозы (НЦ), спирто-водоотжим НЦ и др. стадии. Последовательность стадий обычно описывается с помощью технологической схемы, каждый элемент которой соответствует определенному технологическому процессу.

С позиции системного подхода, технологический процесс – это сложная динамическая система, в рамках которой взаимодействуют: оборудование, средства контроля и управления, вспомогательные и транспортные устройства, обрабатывающий инструмент или среды, находящиеся в постоянном движении и изменении, объекты производства, люди осуществляющие процесс и управляющие им.

Математическое моделирование в производстве промышленной продукции – это процесс создания абстрактной модели в виде формального описания объекта исследования на «математическом языке» и оперирование этой моделью с целью получения необходимых сведений о реальном или проектируемом технологическом объекте.

Одной из основных целей математического моделирования технологических систем является прогнозирование на этапе их проектирования основных характеристик и особенностей их функционирования в реальных условиях промышленного производства. Для действующих производств средствами моделирования определяются условия реконструкции, переоборудования, изменения технологических режимов и регламентов для решения задач оптимизации производственных процессов. Отсюда вытекают требования к достоверности полученных результатов, поскольку ошибки чреваты серьезными убытками, аварийными ситуациями, а также человеческими жертвами [2].

В теории автоматического регулирования имеется специальный термин – пилотное устройство, т.е. устройство, в котором параллельно основному процессу происходит его физическое моделирование и на основании это производится оперативное управление всей технологической системой. Но чаще всего, создание подобных устройств либо невозможно, либо очень дорого. В таком случае применяют математическое моделирование.

Математическая формализация оценки эффективности технологического процесса производства возможна только в случае, когда сформулирован и стандартизован механизм описания моделей технологических стадий. Математическое моделирование может предсказать результат эксперимента. С помощью моделирования технологического процесса можно определить оптимальные условия для производства какого-либо прибора или устройства, не прибегая к многочисленным экспериментам, которые требуют времени и материальных затрат. Моделирование позволяет учитывать множество различных факторов, влияющих на ход технологического процесса. При построении системных моделей, как правило, формируется явное математическое физических процессов, происходящих в действующем объекте, в виде систем дифференциальных, алгебраических и логических уравнений. Современные инструментальные средства позволяют строить модели имитационного типа путем описания системы причинно-следственных связей, имеющих место в моделируемом объекте. При этом соответствующие системы уравнений синтезируются автоматически средней моделирования на основе заданных описаний. При определении параметров модели необходимо учитывать технологические характеристики оборудования и

экспериментальные данные о работе объекта. Допущения, принимаемые при построении моделей, должно обеспечивать воспроизведение качественно верной физической картины, происходящих в объекте процессов работы объекта. Должна также обеспечиваться необходимая полнота моделирования, т.е.: моделироваться все необходимые режимы работы, контролируемые параметры и органы управления объекта моделирования; воспроизводится набор возможных аварий и отказов в работе технологического оборудования и устройств автоматики.

Информационные технологии позволяют автоматизировать технологический процесс. Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека. Как правило, в результате автоматизации технологического процесса, создается автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП).

Процесс компьютерного моделирования включает и конструктивные модели, и ее применение для поставленной задачи: анализа, исследования, оптимизация или синтеза технологических процессов. Основной успешной компьютерного моделирования должна быть тщательная проработка моделей. Аналогии и ассоциации с хорошо изученными структурами играют важную роль в определении отправной точки процесса совершенствования и уточнения деталей. В процессе компьютерного моделирования исследователь имеет дело с тремя объектами: системой (реальной или проектируемой), математической моделью и программой ЭВМ, реализующей алгоритмы преобразования данных с целью получения «выходов» модели. Исходя из того, что компьютерное моделирование применяется для исследования, оптимизации и проектирования реальных технологических объектов, можно выделить следующие этапы процесса: определение объекта, построение модели, стратегическое планирование, разработка моделирующего алгоритма, подготовка данных, оценка адекватности модели, тактическое планирование, экспериментирование, интерпретация, практическое использование результатов моделирования. Перечисленные этапы создания и использования модели определены в предположении, что задача может быть решена наилучшим образом с помощью компьютерного моделирования [3].



Рисунок 1 – Схема организации процесса компьютерного моделирования

Как правило, для одной и той же математической задачи можно предложить множество вычислительных алгоритмов. Однако требуется построение эффективных вычислительных методов, которые позволяют получить точностью за минимальное количество действий (арифметическое, логических) т.е. с минимальными затратами машинного времени.

### Выводы

Приведенные в данной статье классификации моделей технологических процессов и примеры практической реализации таких моделей наглядно демонстрируют огромный потенциал, который несет моделирование в отношении технологических процессов. При сравнительно небольших доработках известные методики моделирования технологических процессов могут быть применены в отношении новых, ранее не рассматриваемых, областей таких, например, как эффективное управление технологическим процессом в производстве новой конкурентно способной продукции.

### Литература

1. Моделирующие программы для нефтяной и газовой промышленности. – Режим доступа: <http://www.gibbsim.ru/reviews/>
2. Вопросы моделирования технологических процессов и поддержки инноваций. – Режим доступа: <http://belisa.org.by/izd/other/>
3. Компьютерное моделирование технологических процессов: – Режим доступа <http://tstu-isman.tstu.ru/pdf/>

### **НОВЫЕ ПРИРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ**

Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Хабабутдинов Д.А., Ялалов И.Ф.,  
Сайфиева А.Р., Гиниятова Л.М.  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
Казань

### **NEW NATURAL MATERIALS FOR SORPTION OF ORGANIC SOLVENTS**

Novikov V.F., Snigireva Y.V., Khababutdinov D.A., Yalalov I.F.,  
Sayfieva A.R., Giniyatova L.M.  
FGBOU VO "The Kazan state power university",  
Kazan

**Аннотация.** В работе, на основе экспериментальных данных, определены времена удерживания различных по физико-химической природе

растворителей, на основе которых рассчитаны сорбционная емкость перспективных сорбентов, нашедших широкое применение в технологических процессах для очистки сточных вод от приоритетных загрязнителей.

**Annotation.** In this article the retention time of various solvents which are widely used in industrial processes for the purification of waste water is estimated experimentally to calculate their sorption capacities afterwards.

**Ключевые слова:** сорбент, цеолиты, свойства, времена удерживания.

**Keywords:** sorbent, zeolites, properties, retention times.

Для использования в различных технологических процессах широко применяются разнообразные сорбционные материалы. Наиболее часто синтетические цеолиты, которые характеризуются высокой сорбционной емкостью, используются для очистки водных и газообразных объектов от приоритетных загрязнителей окружающей природной среды, и применяются в качестве носителей в различных каталитических процессах. Наряду с определенными достоинствами синтетические цеолиты обладают определенными недостатками, заключающимися в их относительно невысокой механической прочности и высокой стоимости.

В последнее время для замены синтетических цеолитов в различных технологических процессах стали использованы природные цеолиты, которые обладают высокой сорбционной емкостью и характеризуются относительно невысокой стоимостью. Ранее нами было найдено, что природные цеолиты, полученные на основе Татарско-Шатрашановского месторождения, обладают высокой сорбционной емкостью, по отношению к тяжелым металлам. [1-2].

В продолжение этих работ нами были исследованы сорбционные свойства цеолитосодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения по отношению к различным органическим растворителям, широко применены в различных технологических процессах. [3-5].

В таблице приведены результаты исследования сорбционных свойств цеолитосодержащих пород по отношению к различным органическим растворителям.

Как видно из таблицы, времена удерживания растворителей и сорбционная ёмкость сорбента зависит от природы растворителей. Для ацетона характерны более высокие значения сорбционной ёмкости, чем для метилэтилкетона и нормального гексана.

Таблица Времена удерживания растворителей

№ оп ыта	Раство ритель	Время удерживания растворителей в t сек, через каждые 10 мм.								Сорбцио нная ёмкость., млгр/гр
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	
1	Н-	52	129	241	370	533	742	1323	1725	436
2	гексан	53	164	317	535	774	1144	1517	1968	488

3		57	191	349	572	836	1201	1639	2194	439
4		59	174	335	546	809	1127	1521	1986	437
5		55	212	312	523	770	1090	1465	1930	500
Ср. арифмет.		55	174	311	509	744	1061	1228	1961	460
1	Ацетон	62	223	440	913	1516	2052	2661	3368	659
2		24	72	122	185	342	483	634	905	674
3		86	197	351	656	961	1465	1874	2262	677
4		29	86	167	242	397	532	707	881	697
5		34	106	196	312	503	717	969	1233	700
Ср. арифмет.		47	137	255	462	744	1050	1369	1730	681
1	МЭК	47	122	192	377	619	863	1139	1380	476
2		34	155	360	628	960	1414	1990	2752	472
3		41	161	379	652	1010	1503	2050	2729	479
4		40	178	369	634	973	1410	1889	2595	508
5		36	146	357	610	934	1365	1911	2688	513
Ср. арифмет.		40	152	331	580	899	1311	1796	2429	490

где МЭК – Метилэтилкетон

### Литература.

1. Новиков В.Ф., Осипов А.Л., Снигирева Ю.В., Танеева А.В., Никонова А.О., Хорошева Л.Р., Восходящая колоночная хроматография для оценки селективных свойств органических растворителей// Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение». – Казань, 2016. С.-437-440.

2. Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Хабабутдинов Д.А., Ялалов И.Ф., Физико-химические свойства растворителей для колоночной хроматографии// Периодический научный сборник 2016, №4-4, Современные тенденции развития науки и технологий, по материалам XIII Международной научно-практической конференции, – г. Белгород, 2016г. С.-85-89.

3. Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Ялалов И.Ф., Хабабутдинов Д. А., Гиниятова Л. М., Сайфиева А.Р., Изучение технологических свойств органических растворителей// Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение». – Казань, 2016. С.-456-457.

4. Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Хабабутдинов Д.А., Ялалов И.Ф., Хроматографическое поведение растворителей в восходящей колоночной жидкостной хроматографии// Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук, Международная научно-практическая конференция, – г. Тольятти, 2016г. С.-45-47.

5. Новиков В.Ф., Осипов А.Л., Гиниятова Л.М., Сайфиева А.Р., Оценка сорбционных свойств органических растворителей// Материалы XIII Международной научно-практической конференции г. Белгород, 2016 г. С.-129-130



## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Павлов Павел Павлович, Гараева Альфия Ришатовна,  
Корольков Александр Юрьевич, Соловьева Светлана Игоревна,  
Хуснутдинов Азат Назипович  
Казанский государственный энергетический университет  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

**Аннотация.** В статье приведены современные методики оценки технического состояния электротехнического оборудования сложных технических объектов. Предложен усовершенствованный метод экспертной оценки остаточного ресурса деталей и узлов.

**Abstract.** The article describes modern methods of estimating the technical state of electrical equipment of complex technical objects. Proposed an improved method for the expert evaluation of residual life of parts and components.

**Ключевые слова:** диагностика, ремонт, оптимальное решение, электрическая машина.

Эффективность и надежность функционирования электротехнического оборудования (ЭТО) сложных технических объектов зависит от его технического состояния. Современное ЭТО имеет достаточно высокие расчетные показатели надежности. Однако в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов, условий и режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надежность и увеличивается опасность возникновения отказов. Надежность ЭТО зависит не только от качества изготовления, но и от своевременного диагностирования отказов, правильного технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время для поддержания требуемого технического состояния оборудования сложных технических объектов в соответствии с требованиями нормативно-технической документации применяют систему планово-предупредительного ремонта (ППР). Система ППР предназначена для обеспечения надежности ЭТО в условиях жесткого централизованного планирования и управления. В новых экономических условиях система ППР не обеспечивает во многих случаях принятие оптимальных решений. Это объясняется следующими причинами и обстоятельствами:

- назначение профилактических работ осуществляется по регламенту и не зависит от фактического состояния ЭТО к моменту начала ремонта;
- планы-графики профилактических работ не устанавливают приоритета вывода в ремонт различных видов ЭТО;
- при составлении планов-графиков не учитывается ряд ограничений (технологических, материальных, временных, трудовых), а также не предусматривается их оптимизация с позиции рационального управления

состояниями процесса эксплуатации и более полного расходования ресурса каждой единицы ЭТО.

Кроме того, система ППР имеет большую трудоемкость профилактических работ. Пропорционально росту количества ЭТО повышается и общая трудоемкость ремонтных работ, что требует значительного увеличения численности ремонтного персонала. При проведении профилактических работ через полученные статистическим путем усредненные периоды, даже при наличии поправочных коэффициентов на условия и режимы эксплуатации, без точного определения технического состояния нельзя гарантировать, что в межремонтный период не будут возникать отказы электрооборудования.

При этом большинству отказов предшествует тот или иной вид накопленных повреждений, а фактическое время работы ЭТО, находящегося в структуре ремонтных циклов, как правило, не учитывается. Поэтому требуется разработка системы планово-предупредительного ремонта электротехнического оборудования с глубоким диагностированием, оценкой и учетом технического состояния элементов системы.

Для решения этой проблемы ставятся следующие задачи:

- разработка программы обследования ЭТО для оценки его технического состояния;
- анализ эффективности существующей системы ППР и выявление недостатков в существующей системе;
- корректировка параметров объемов ремонта и сроков эксплуатационного обслуживания ЭТО;
- разработка алгоритмов и компьютерных программ для расчета производственных параметров ППР, предотвращающих аварийные ситуации в работе ЭТО;

Основными исходными данными являются: методы (вероятностно-статистические) оценки технического состояния деталей и узлов электротехнического оборудования сложных технических объектов. Методы экспертной оценки остаточного ресурса деталей и узлов. Банк данных об отказах и неисправностях электрических машин, трансформаторов, элементов электрических сетей и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Аухадеев А.Э. Практическое применение нормального закона распределения в теории надежности технических систем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. №4(546). С.96-99.
2. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Залялов Р.Р. Выбор оптимального варианта многофункциональной технической системы // Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в образовании и науке», Часть 9. 2014. С.102-103

3. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Корольков А.Ю., Соловьева С.И. Диагностирование отказов электротехнического оборудования электроподвижного состава. // В сборнике: Вопросы образования и науки теоретический и методический аспекты. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Часть 2. 2015. С.108-109

4. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. № 6. 2015.

5. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Павлов П.П. Многокритериальный сравнительный анализ образцов электрического транспорта. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал № 1-2. – Новосибирск: НГАВТ., 2013. – 378 с.

6. Хуснутдинов А.Н., Рыбаков Р.Б., Аллямова Н.М. Применение итерационных методов при проектировании электрических машин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал № 1-2. – Новосибирск: НГАВТ., 2014. С.272 – 274.

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСАДКИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ ИСКЛЮЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТА ЗАЖИМ НА ПРИМЕРЕ ПОКОВКИ КОЖУХ ПОЛУОСИ**

Панкратов Дмитрий Леонидович, Низамов Равиль Салимович,  
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета, г. Набережные Челны пр. Мира 68/19, 423812,  
Республика Татарстан, Россия, pankratovdl@gmail.com, nizamovrs@yandex.ru

Харисов Ильсур Жавдатович, Кузнечный завод ПАО «КАМАЗ»,  
г. Набережные Челны, пр. Автозаводский 2,423827, Республика Татарстан,  
Россия, Ilsur\_v2@mail.ru

Аннотация. Проведено моделирование высадки с нагревом на ограниченном участке заготовки. Подтверждено преимущество применения метода формирования наборного перехода с применением конусного пуансона.



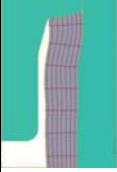






Abstract. It is simulated landings with heating on the limited site of preparation. Advantage of application of a method of formation of type-setting transition with application of a punch in the form of a cone is confirmed.

Ключевые слова: моделирование, нагрев, высадка, труба.

Технологический процесс изготовления кожуха полуоси в условиях Кузнечного завода ПАО КАМАЗ представляет собой высадку трубы за 3 перехода. Основная проблема – периодически возникающий при высадке дефект в виде трещины на внутренней полости фланцевой части поковки. Дефект представляет собой зажим по внутренней поверхности поковки.

Моделирование процесса в QForm2DV 8.0.4 для базовой и опытной технологий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение базовой и опытной технологий.

Переход	Базовая технология	Опытная технология
1 переход 		
2 переход 		
3 переход 		

На основе моделирования определена причина образования зажима при высадке трубы. Разработан способ, исключающий образование дефекта в полуфабрикате за счет изменения конфигурации наборного перехода[1].

Однако практика штамповки поковки-представителя указывает на значительное влияние процесса нагрева заготовки перед штамповкой, так как перед высадкой на ГКМ нагрев осуществляется на ограниченном участке. Градиент температур в переходной части заготовки возможно смоделировать в QForm2D заданием теплового потока на ограниченный объем заготовки (рис.1).

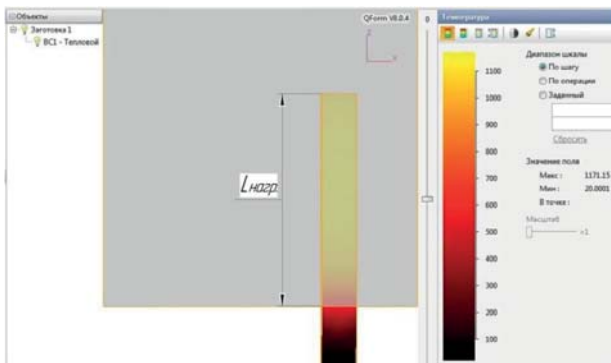


Рис. 1. Моделирование нагрева участка заготовки перед высадкой.

Согласно рекомендациям Сторожева М.В. [2, с.127] задано значение температуры нагрева перед штамповкой  $1180^{\circ}\text{C}$ . Исходя из требований по температуре окончанияковки  $870^{\circ}\text{C}$  [2, с.127] проведено моделирование процесса высадки для температур нагрева заготовки  $1180^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$  и  $900^{\circ}\text{C}$ . В общем случае длина нагреваемого участка заготовки определяется из равенства объемов высаживаемой части заготовки и высаживаемой части поковки [3, с. 266]. Длина нагреваемого участка по действующему технологическому процессу составляет 250 мм от торца заготовки и определена с помощью функции QForm «граничные условия». Для исследования возможности снижения энергозатрат на предварительный нагрев предлагаем смоделировать процесс в условиях нагрева участка длиной  $0,9L_{\text{нагр.}}$ ,  $0,8L_{\text{нагр.}}$  и  $0,7L_{\text{нагр.}}$ , где  $L_{\text{нагр.}}$  – длина нагреваемого участка (рис.1). Проведенные ранее исследования [1] указывают на целесообразность расчета вариантов высадки пуансоном конусной формы с углом у основания  $15^{\circ}$  и пуансоном с ровным торцом. Результаты моделирования наборных переходов поковки кожух полуоси для вышеуказанных вариантов с учетом градиента температуры приведены на рис.2.

Моделирование со снижением температуры показало, что применение наборного пуансона с ровным торцом увеличивает вероятность образования дефекта зажим (рис.2). При этом на третьем переходе для всех рассмотренных вариантов остается незаполненная область. Скопление окалины и технологической смазки в незаполненных областях гравюры (рис.2) приводит к образованию таких видов дефектов, как поднутрение, заштамповка окалины и прострел [4]. На окончательном переходе описанные отклонения увеличивают риск заштамповки дефектов в тело поковки. Применение конусного пуансона обеспечивает гарантированное заполнение по переходам при минимальных предложенных значениях температуры длины нагреваемого участка. С учетом реальных условий производства следует использовать температуру и длину

нагрева  $1180^{\circ}\text{C}$  и 200 мм соответственно (рис.2). Предложенное решение позволит снизить энергоемкость процесса нагрева перед высадкой ~на 20%.

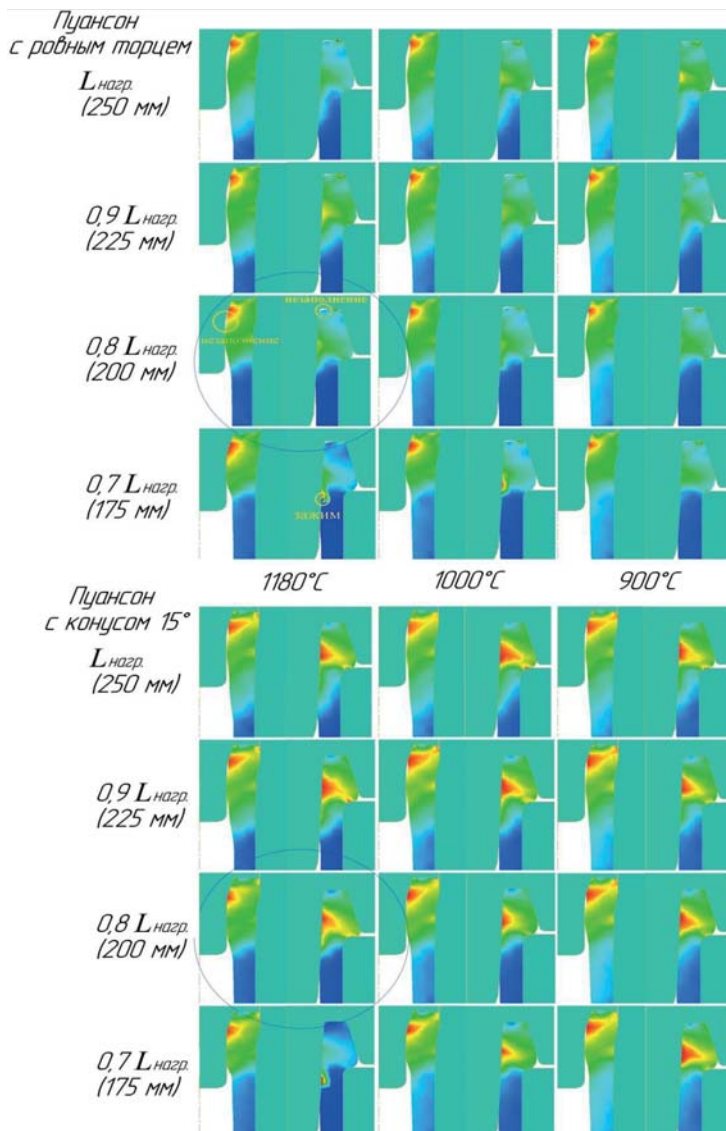


Рис. 2. Результаты моделирования.

Сравнение наборных переходов для одинаковых условий высадки ( $0,8L_{\text{нагр.}}=200\text{мм}$ ,  $1180^\circ\text{C}$ ), представленных в поле деформаций (рис.3) позволяет сделать вывод, что применение конусного пуансона позволило сместить формообразование в направлении незаполненного участка на величину  $\Delta$ . При этом зона пластической деформации сместилась к переходной температурной зоне на  $\Delta_1$ . Такое поведение объясняется законом сохранения объема и обусловлено уменьшением объема металла в верхней части полуфабриката за счет применения конусного пуансона.

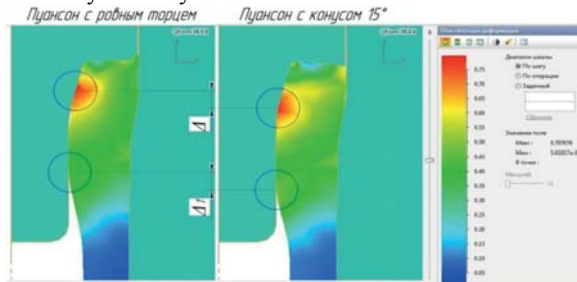


Рис. 3 Наборный переход, представленный в поле деформаций.

Вывод. Подтверждено моделированием преимущество применения метода формирования наборного перехода с применением конусного пуансона. Применение описанного решения на практике позволяет избежать образование скрытых дефектов в готовом изделии. Сопутствующим эффектом является снижение энергозатрат на индукционный нагрев заготовки. Предложенный метод применим для процесса высадки аналогичных изделий из трубной заготовки. При необходимости, возможно определить изменение усилия по ходу высадки и оценить возможность появления трещин[5].

### Список используемых источников

1. Панкратов Д.Л., Низамов Р.С., Харисов И.Ж., 2016, Исследование влияния геометрических параметров гравюры штампа наборных переходов при высадке трубных заготовок на получение бездефектных изделий (IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 134 (2016) 012047 doi:10.1088/1757-899X/134/1/012047)
2. Технологический справочник по ковке и штамповке /Под редакцией М. В. Сторожева/ - государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы,— 1969, 966 с.
3. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х томах. – Т.1. Горячая штамповка /Под ред. Е.И. Семенова/ - М.: Машиностроение, - 1986, 592 с.
4. Панкратов Д. Л. и Валиев А. М., 2014, Создание анизотропных условий трения в процессах горячей объемной штамповки (IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering, Volume 69, Issue 1, 2014, Article number 012034, DOI: 10.1088/1757-899X/69/1/012034)

5. Дмитриев А. М. и Воронцов А. Л., 2005, Общая теория осадки и высадки цилиндрических заготовок. Часть III. Высадка поллой заготовки (Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия “Машиностроение”), 125 с.

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ**

Попов Константин Сергеевич, НТЦ ПАО «КАМАЗ», 423823, магистр, аспирант, Казанский приволжский федеральный университет

Никишин Вячеслав Николаевич, д.т.н., профессор, Казанский приволжский федеральный университет

Аннотация. Система топливоподачи играет неотъемлемую роль в работе автомобиля. Система постоянно обеспечивает двигатель топливом. При использовании схемы с двумя топливными баками зачастую случается, что в рабочем режиме на ходу необходимо переключиться с одного бака на другой, либо же использовать баки как сообщающиеся сосуды, чтобы забор топлива происходил параллельно с двух баков. Такое будет возможно при условии, что в системе будут присутствовать электромагнитные клапаны, которые будут производить переключение, подачу и отсечку с баков. Также с целью улучшения эргономики и автоматизации возможно использование управляющих органов с панели приборов автомобиля, что облегчает и автоматизирует управление данным процессом.

Annotation. Fuel system plays an integral role in the car. The system continuously provides the engine with fuel. When using the circuit with two fuel tanks often it happens that the switch on the fly during operation must be from one tank to another, or use the same tanks as communicating vessels, that the fuel is drawn in parallel with the two tanks. This may be provided that will be present in the system solenoid valves, which would produce a switching supply and shutoff with tanks. Also, in order to improve ergonomics and automation can be used with the governing bodies of the car dashboard that facilitates and automates the management of this process.

Ключевые слова: топливо, топливный бак, клапан, трубопровод, вентилятор.

Такая схема (конструктивное решение) относится к автомобилестроению, в частности, к конструкции системы топливопитания автомобиля, полезная модель может быть использована в конструкции иных транспортных средств.

Предлагаемое техническое решение предназначено для снижения трудоёмкости переключения контуров системы за счёт дистанционного управления клапанами переключения используемых топливных баков при



эксплуатации автомобиля и для охлаждения топлива на подаче и дренаже, возвращаемого в топливные баки.

Известные конструкции систем топливопитания автомобиля имеют недостаточную эксплуатационную эргономику, надёжность и управление.

Была поставлена задача повышения эксплуатационной эргономики системы топливопитания автомобиля и повышения надёжности эксплуатации автомобиля в условиях жаркого климата. Поставленная задача решается тем, что вводится дистанционное управление элементами системы и теплообменник для охлаждения топлива.

Заявляемое техническое решение поясняется схемой работы топливоподдачи. (см. рис. 1).

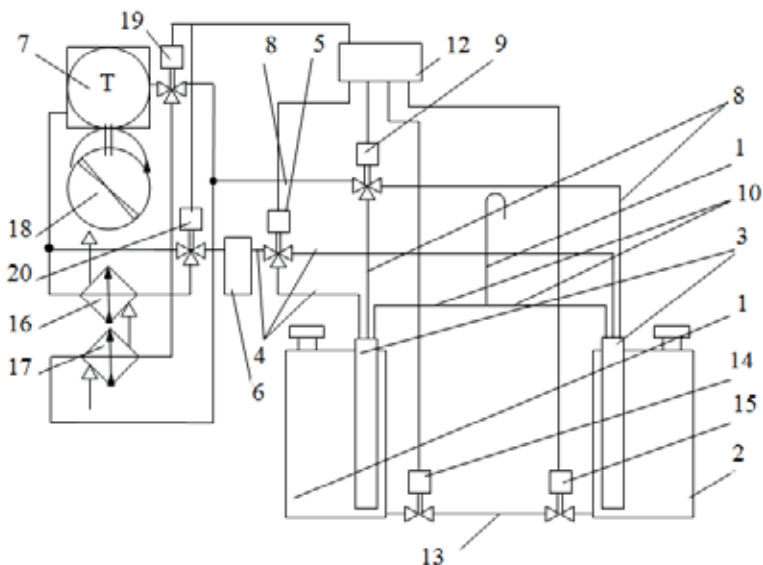


Рис. 1 – Система топливоподдачи автомобиля (принципиальная схема).

Система имеет основной 1 и дополнительный 2 топливные баки, оснащенные блоками 3 (топливозаборники с датчиками уровня топлива и сливом топлива, при необходимости, с подогревом) со своими заливными горловинами. С помощью топливозаборников топливо поступает в топливопроводы, откуда поступает в электромагнитные клапаны. Топливопроводы заборки 4 (всасывающие топливопроводы) обоих баков соединяют топливозаборники блоков 3 с трёхходовым электромагнитным клапаном 5 [1] заборки топлива, которое через фильтр грубой очистки топлива 6 подводится к двигателю 7 автомобиля. Топливопроводы слива топлива 8 обоих баков соединяют блоки 3 с трёхходовым электромагнитным клапаном 9,

который соединяет систему со сливом топлива с двигателя 6. Система имеет трубопроводы вентиляции 10. Объединенный трубопровод 11 выводится на необходимую высоту для прохождения автомобилем брода. Управление клапанами 5 и 9 осуществляется водителем с панели приборов 12 автомобиля, при этом выбирается переключением соответствующей клавишей используемый топливный бак. При возникновении проблем переключения клапанами 5 и 9 дистанционно, клапана оснащены переключением в ручном режиме (для этого расположение самих клапанов предусматривается в прямой доступности для действий водителя на автомобиле). Заправка автомобиля топливом может осуществляться через любой топливный бак благодаря наличию управляемого трубопровода 13 связи работающего на принципе сообщающихся сосудов. Для использования конкретно выбранного топливного бака используются электромагнитные клапана 14 и 15 управляемые также с панели приборов 12, при заправке автомобиля клапана 14 и 15 нормально открытые. Для охлаждения топлива в условиях высоких температур окружающего воздуха в системе предусматривается наличие двух теплообменников 16 и 17 (на подаче топлива и дренаже), которые обдуваются потоком воздуха создаваемого вентилятором 18, связанным с двигателем 7. Топливо может направляться как через теплообменники 16 и 17, так и минуя их. Управление потоками осуществляется через трёхходовые электромагнитные клапаны 19 и 20, которые активируются через панель приборов 12.

Таким образом, система оснащается дополнительными электромагнитными клапанами, которые помогают осуществлять подачу, слив топлива, а также производить переход топлива из одного бака в другой.

Данная схема упрощает заправку автомобиля топливом, так как можно осуществлять заправку в любой бак. Теплообменник позволяет снижать температуру топлива, что весьма необходимо при жарком климате. Управление электромагнитными клапанами позволяет переключаться между баками, либо же использовать один бак на ходу без остановки.[2]

Заявляемое техническое решение позволяет улучшить эргономику системы по отношению к водителю на его рабочем месте, удобство заправки автомобиля.

Техническое решение соответствует требованию промышленной применимости и возможно для реализации на стандартном технологическом оборудовании.

#### Список литературы.

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. 4-е изд. пере-раб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
2. Дмитриенко В.Д., Савельев Г.М. Пути снижения расхода топлива и токсичности автомобильных двигателей. М.: ИППК АП, 1981. - 91 с.

## **ОБРАБОТКА ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА ТРОХОИДАЛЬНЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ**

Рябов Евгений Александрович

Юрасов Сергей Юрьевич

Хисамутдинов Равиль Миргалимович

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета.

423810, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19

**Аннотация:** в статье раскрывается принцип работы трохоидального фрезерования и его применимость для получения контура сложной формы в сплошном материале.

**Annotation:** the article describes the working principle of trochoidal milling and its applicability for obtaining the complex shaped holes in solid material.

**Ключевые слова:** трохоидальное фрезерование, вырезание контура.

Зачастую при работе в средне- и мелкосерийном производстве перед фрезеровщиком встаёт задача обработки карманов и сквозных внутренних контуров достаточно сложной формы в сплошном материале. На сегодняшний день широкое распространение получило предварительное получение подобных сквозных контуров плазмой, однако оно имеет как ряд технологических и технических ограничений, так и меняет структуру материала в зоне резания, создавая оплавленную область с дефектным слоем разного рельефа. Подобный дефектный слой с переменной твёрдостью крайне неблагоприятно для работоспособности фрезы при механической обработке: снижаются режимы резания, значительно снижается стойкость фрезы, повышается вероятность возникновения вибраций, повышается температура в зоне резания. Вырез такого контура электроэрозионной обработкой требует предварительного засверливания, а так же это достаточно энергоёмкий и непроизводительный метод, как и вырезание лазером. Гидроабразивная резка дорога и не получила достаточного распространения. К тому же ни один из перечисленных методов не подходит для обработки глухих карманов. Так же предварительно полученный сквозной контур требует более точной настройки нуля, что усложняет схему базирования и схему закрепления на фрезерном станке с ЧПУ. Наличие сквозных контуров снижает качество и ресурс торцовых фрез в виду появления зон прерывистого резания, а так же снижает общую жёсткость заготовок.

Традиционный подход к вырезанию внутреннего контура и карманов предполагает два метода. Первый метод заключается в поэтапном рафрезеровывание контура на величину глубины резания используемой концевой фрезой. Второй метод подразумевает непосредственно рез полной шириной фрезы вдоль контура с припуском на дальнейшую чистовую обработку. У первого метода к недостаткам можно отнести: весь объём контура перерабатывается в стружку, что приводит к увеличению расхода инструмента по отношению к полезной длине получаемого контура. У второго

метода существенным недостатком является резание всей шириной фрезы, приводящей к снижению стойкости фрезы или её поломке за счёт следующих факторов: наличие попутного и встречного фрезерования одновременно; заневоленное резание, приводящее к отгибу фрезы; погрешность контура в точках смены направления подачи; большая радиальная нагрузка на шпиндель и привода подач станка, что особенно губительно для модернизированного старого оборудования; снижение режимов обработки; возникновение вибраций вырезаемого контура, которые особенно сильно изнашивают зубья из-за ударных нагрузок. Для снижения расхода инструмента и повышения качества обработки можно использовать трохоидальное фрезерование.

Трохоида – это циклоидальная кривая, образованная траекторией точки, расположенной на луче, исходящем из центра окружности, которая совершает качение без проскальзывания по некоторому контуру. В частном случае, при качении окружности по прямой и расположении точки за окружностью, говорят об удлинённой трохоиде. Любое фрезерование можно представить как трохоидальное, т.к. точка вершины зуба фрезы совершает совокупное движение вращения вокруг центра фрезы и прямолинейное (рис.1) или круговое (рис. 2) перемещение на величину смещения центра фрезы за один оборот.

Для прямолинейного перемещения, соответствующему команде G1, траектория вершины зуба фрезы описывается формулой

$$\begin{cases} x = r_{обк} * \varphi - R_{фр} * \sin(\varphi) \\ y = r_{обк} - R_{фр} * \cos(\varphi) \end{cases} \quad (1)$$

где  $r_{обк} = \frac{f_{об}}{\pi}$  - радиус окружности, совершающей обкат по кривой,  $R_{фр}$  - радиус фрезы,  $f_{об}$  - подача на оборот

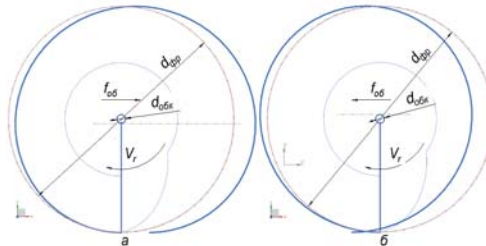


рис. 1. а - Траектория движения вершины одного зуба за один оборот при попутном фрезеровании и прямолинейной подаче, б - Траектория движения вершины одного зуба за один оборот при встречном фрезеровании и прямолинейной подаче

Для кругового перемещения, соответствующему команде G2G42 (рис. 2а), траектория вершины зуба фрезы описывается формулой, соответствующей эпитрохоиде.

$$\begin{cases} x = R * (m + 1) * \cos(m * \varphi) - R_{\text{фп}} * \cos((m + 1) * \varphi) \\ y = -R * (m + 1) * \sin(m * \varphi) + R_{\text{фп}} * \sin((m + 1) * \varphi) \end{cases} \quad (2)$$

Где  $R = R_{\text{отв}} - R_{\text{фп}} + r_{\text{обк}}$  - радиус обкатываемой окружности,  $m = \frac{r_{\text{обк}}}{R}$

Для кругового перемещения, соответствующего команде G3G41 (рис. 2б), траектория вершины зуба фрезы описывается формулой, соответствующей гипотрохоиде.

$$\begin{cases} x = (R - r_{\text{обк}}) * \cos(\varphi) - R_{\text{фп}} * \cos\left(\frac{R - r_{\text{обк}}}{r_{\text{обк}}} * \varphi\right) \\ y = (R - r_{\text{обк}}) * \sin(\varphi) - R_{\text{фп}} * \sin\left(\frac{R - r_{\text{обк}}}{r_{\text{обк}}} * \varphi\right) \end{cases}, \quad (3)$$

Где  $R = R_{\text{отв}} - R_{\text{фп}} - r_{\text{обк}}$  - радиус обкатываемой окружности

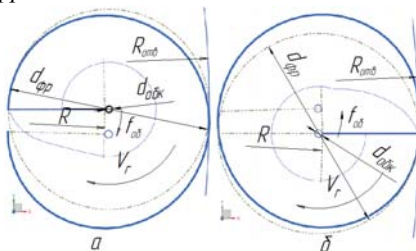


рис. 2. а- Траектория движения вершины одного зуба за один оборот при встречном фрезеровании и круговой подаче, б - Траектория движения вершины одного зуба за один оборот при попутном фрезеровании и круговой подаче

Однако, традиционно, под трохоидальным фрезерованием принято понимать обработку полного или части контура, реализуемого смещением формирующей окружности или иных контуров, превышающих диаметр фрезы (рис 3а). Таким образом, в обработке всегда находятся примерно одинаковые фрагменты круга (обозначен светлой закраской на рис 3б.), зависящий от направления смещения и одинаковости форм смещаемых формирующих контуров. За один оборот фрезы снимается припуск, в сечении имеющий определённую форму (обозначена тёмной закраской на рис 3б). При этом генерирование управляющей программы с использованием трохоидальной стратегии обработки с помощью NX-CAM показал единственный вариант, при котором смещение формирующего контура используется лишь на начальном этапе расфрезеровывания полости контура формы усечённого круга, после которого траектория движения фрезы идёт эквидистантно заданному контуру (рис. 3в).

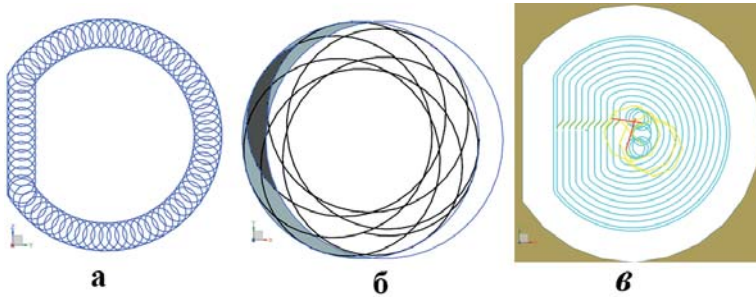


Рис. 3 а- разбиение внутреннего контура, имеющего форму усечённой окружности на смещённые формирующие контуры, б – траектория движения вершины одного зуба внутри каждого формирующего контура. в – траектория движения центра фрезы, полученная в NX-CAM.

Результаты с использованием трохоидального фрезерования, обработки на проход и обработки через NX-CAM представлены на рис 4. Обработка проводилась быстрорежущей концевой фрезой ( $z=4$   $d=20$  мм), ширина фрезерования 19 мм, контур  $d = 82_{+0.17}^{-0.34}$  мм Ra 6.3с хордой  $l = 76_{+0.19}$  мм. При трохоидальном фрезеровании использовались следующие режимы резания:  $n=900$  об/мин,  $f=300$  мм/мин, стойкость фрезы составила 13 контуров до критического износа, шероховатость Ra 6.3, цикл обработки одного контура  $t=10$  мин. При обработке полной шириной фрезы использовались следующие режимы резания:  $n=450$  об/мин,  $f=80$  мм/мин, стойкость фрезы составила 3 контура до поломки инструмента, по периметру контура появилась отчётливая рябь с шероховатостью Ra25, боковая стенка получилась конусной с максимальным диаметром  $d=81.94$  мм, цикл обработки одного контура  $t=4$  мин. При обработке программой от NX-CAM использовались следующие режимы резания:  $n=900$  об/мин,  $f=300$  мм/мин, стойкость фрезы 7 контуров до критического износа, шероховатость Ra 5, цикл обработки одного отверстия  $t=7$  мин.



рис. 4 а– трохоидальное фрезерование, реализуемая циклом, соответствующим рис 3а, б - обработка на проход полной шириной фрезы, в - трохоидальное фрезерование по программе от NX-CAM.

Таким образом, применение трохoidalного фрезерования при вырезе внутреннего контура приводит к повышению стойкости инструмента за счёт условного постоянства режимов резания и ограничение объёма снимаемого материала. Из-за множества холостых участков траектории подачи производительность обработки целого контура была ниже, чем при обработке полной шириной фрезы и по программе, предложенной САМ системой. Качество поверхности после фрезерования можно отнести к получистовым.

### Список литературы:

1. Евченко К.Г. Delcam professional services: разработка и внедрение новых методов механообработки. Главный механик, 2015, №2, стр. 14-17.
2. Golovko A.N., Golovko I.V. Errors in the gear-tooth profile in shaving // Russian Engineering Research. 2013. Vol. 33, No. 5. pp. 309–311.
3. Golovko A.N., Golovko I.V. Optimal design parameters of a shaving hob for compensation of the systematic error in the gear-tooth profile // Russian Engineering Research. 2013. Vol. 33, No. 7. pp. 427–428.

## ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

*Саетишин Айдар Айратович\**, *Низамиев Айрат Юнисович\*\**,  
*Юсупов Фархад Тимурович\*\**, *Борбузанов Виталий Геннадиевич\*\**,  
*Матухин Евгений Леонидович\*\**, *Валишина Зимфира Талгатовна\**,  
*Косточко Анатолий Владимирович\**

*\*Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений. Казанский национальный исследовательский технологический университет. г. Казань, 420015, Республика Татарстан. Россия ул. Карла Маркса, 68.*

*E-mail: aidar.saetschin@yandex.ru*

*\*\*ФКП «Казанский государственный казенный пороховой завод», тел. (843)-554-34-20, т/ф (843)-554-40-14*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема измельчения волокнистых материалов, в частности, нитратов целлюлозы, а также экспресс метод анализа степени измельчения.

**Annotation.** In the article the problem of crushing of fibrous materials, such as cellulose nitrate, as well as rapid method for analyzing the degree of crushing.

**Ключевые слова:** измельчение, нитраты целлюлозы, качество измельчения, концентрация.

Несмотря на большое количество исследований, и разработок в области измельчения волокнистых материалов, в частности, нитратов целлюлозы (НЦ), проблема их промышленного измельчения является достаточно сложным вопросом. Нитраты целлюлозы являются главным сырьевым источником при

изготовлении спортивно-охотничьих порохов, лакокрасочных материалов. Поэтому от процесса качественного измельчения нитратов целлюлозы во многом зависит и все последующие качественные характеристики выпускаемой продукции [1].

Использование для промышленного измельчения НЦ более совершенных аппаратов и агрегатов (дисковых мельниц ДМК, МД-31, конических мельниц РК-01 и др.) способствовало в целом улучшению процесса измельчения и его значительной интенсификации. Однако в связи с развитием существующих и новых областей использования нитратов целлюлозы проблема высокоинтенсивного и качественного их измельчения остается все ещё актуальной. В этом отношении большой интерес для совершенствования технологии измельчения НЦ представляют дисковые мельницы серии МД (МД-31, МД-14-2, FDD-500 и др.), хотя первая из них, как в отдельности, так и в различных сочетаниях с другими мельницами широко применяется на предприятиях отрасли для измельчения НЦ [1].

В связи с этим, нами были проанализированы проблемы создания новых технологий измельчения нитратов целлюлозы на базе дисковой мельницы FDD-500 и осуществления на ней высокоинтенсивного измельчения продукции при высоких концентрациях измельчаемой массы (10 – 12 мас.%). При этом использование новой модификации дисковой мельницы с использованием новой гарнитуры и с принудительной подачей концентрированной массы способно обеспечить качественное измельчение всех марок нитратов целлюлозы и высокую производительность самого процесса обработки.

В то же время, потребление электроэнергии на мельнице FDD-500 при измельчении минимальное, например, сравнительные удельные расходы электроэнергии для мельниц FDD-500, МД-31-1 и голландера соответственно составляют 132, 300-375 и 400-600 кВт ч/т. В таблице 1 приведены технические характеристики используемых оборудования и рекомендуемой мельницы FDD-500.

Сгущение технологической (водной) суспензии может быть осуществлено разными способами:

- сгущение водной взвеси НЦ с массовой долей 3 – 5% до 10 - 12% на барабанных и гидроциклонных сгустителях с последующей подачей сгущенной массы непосредственно в зону измельчения мельницы;

- сгущение водной взвеси НЦ с массовой долей 3 – 5% до 15 – 20%, осуществляемое шнек-питателем путем максимального отжима от воды и принудительной подачи её непосредственно в зону измельчения мельницы.

Сгущение и принудительная подача высококонцентрированной нитрат целлюлозной массы на измельчение является весьма перспективным как в части достижения очень качественного измельчения НЦ, так и в части существенного повышения производительности измельчительного аппарата. Кроме того, сама схема измельчения характеризуется существенно низкими удельными затратами электроэнергии [1].

Качество измельчения НЦ предложено оценивать с использованием анализатора свойств волокна и частиц с помощью прибора Metso FS5 (рис. 1)



[3]. Метод позволяет анализировать образцы с предоставлением данных о размерах волокна (длина, ширина), о характеристиках мелочи, грубости, скручивании волокна и других многочисленных параметрах морфологической структуры волокна и частиц.



Рисунок 1 - Анализатор свойств волокна

Концентрацию НЦ в водной суспензии предложено контролировать с помощью автоматического прибора измерения концентрации, устанавливаемого в трубопровод, который позволяет оперативно получать данные для перерасчета и сократить время проведения аналитического контроля. Данный прибор широко используется в целлюлозно-бумажной промышленности (рис.2).



Рисунок 2 - Прибор для контролирования концентрации суспензии

В настоящее время установка измельчения НЦ на мельнице FDD-500(с производительностью по сухому волокну до 0,833 т/час) готовится к опытно-промышленным испытаниям на одном из предприятий отрасли.

## ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ существующих технологий измельчения НЦ в промышленных условиях.

2. Показано, что использование для целей промышленного измельчения НЦ дисковых мельниц FDD-500с использованием новой модификации гарнитуры, со сгущением и принудительной подачей сгущенной массы непосредственно в зону измельчения мельницы является наиболее оптимальным процессом.

3. Впервые рекомендовано исследовать параметры морфологической структуры НЦ с помощью современного анализатора типа Metso FS5. Метод анализа свойств частиц НЦ характеризуется большой точностью, информативностью и имеется возможность использовать как экспресс метод анализа.

## Литература

1. Гиндич В.И., Забелин Л.В., Марченко Г.Н. Производство нитратов целлюлозы. Технология и оборудование. - М.: ЦНИИНТИ, 1984. – 360с.
2. Руководство по использованию анализатора свойств волокна Metso FS5.

Таблица 1 - Технические характеристики мельниц

Наименование параметра	Рекомендуемая мельница	МД-2Ш6	РК-01	Голландер	ДМК	МД-31-1	Comflo	D-31	ЛКМ
Производительность, кг/час	FDD-500	850-3500	640-800	200-220	500-550	750-1500	500-1000	1250-2500	-
Массовая концентрация волокна в размалываемом полуфабрикате, %		до 30	5-8	8-10	5-9	10-12	2-6	12-15	6
Диаметр дисков по гарнитуре, мм	580	800	Диаметр ротора 1 каскад 992	Диаметр барабана 1,26 м	330	1000	-	663	-
Частота вращения ротора, об/мин	750	1000	2 каска д 552	140-150	960	600	100х 2500	740	2920
Мощность электродвигателя, кВт	132	315	160	400-600	130	500	37-110	110-200	37,5
Габаритные размеры, мм	778x1085 x3430	5375x 1830x 1435	7450x1400	7450x 1400	1600x 525	5080x 1820x 1570	1510x 810x 720	1082x119 7x1780	1700x 400 x468
Масса, кг	2364	11000	6500	-	1900	13470	780	2140	320

## ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Смоленцев Евгений Владиславович, Бобров Евгений Сергеевич,  
Кондратьев Михаил Вячеславович, Чернышева Виктория Владимировна

Воронежский государственный технический университет, профессор  
Г. Воронеж, 394026, Московский проспект, 14

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология ремонта зубчатых передач и ее усовершенствование за счет применения нового способа доводки. Новый способ позволяет снизить трудоемкость обработки за счет исключения операций по механической доводки профиля зубчатых колес, при этом обеспечивается необходимая точность и ресурс восстановленных передач

**Summary.** This article shows the technology of repair gear and its improvement through the application of a new method of fine-tuning. The new method makes it possible to reduce the complexity of processing by eliminating manual finishing by profile gear operations, while ensuring the necessary accuracy and resource recovery programs

Ключевые слова: комбинированная доводка, электромагнитное поле, эвольвента

На основании типового технологического процесса ремонт и восстановление зубчатых передач подразумевает использование специального оборудования и технологий, которые есть только на небольшом числе предприятий. Наряду с этим некоторые виды импортных зубчатых передач в России не производились, однако их ремонт и восстановление дают возможность сэкономить большие средства и сохранить ресурс сложных и дорогих изделий. Вдали от индустриальных центров ремонт зубчатых передач имеющимися методами становится не возможным, а в изделиях иностранных производителей поставки – необоснованно дорогим. Проблема восстановления зубчатых передач непосредственно в изделиях актуальна для всех отраслей машиностроения. Метод комбинированной электроэрозионно-химической обработки предоставляет возможность разработать методы удаления дискретного управляемого припуска при восстановлении передач [1]. Учитывая накопленный опыт, в Воронежском государственном техническом университете была разработана новая технология доводки зубчатых колес комбинированными методами, в том числе и в собранном редукторе. Данный метод обеспечивает качество зубчатых передач на уровне требований современных стандартов, дает экономический эффект в авиакосмической отрасли, транспортном машиностроении, станкостроении и других отраслях машиностроения. Защищенный патентом способ является экологически чистым и не требует больших затрат средств на охрану окружающей среды. Для осуществления операции доводки оборудование комплектуется из стандартных узлов имеющегося оборудования, не дорого, быстро перестраивается на другие

виды обрабатываемых зубчатых колес [2].

На рисунке показана схема осуществления способа. Кондиционное зубчатое колесо 1 с покрытием 2 титаном установлено в рабочем положении с изношенным колесом 3 в ванну со стандартным электролитом 4. На зубчатые колеса 1 и 3 подается постоянный ток от генератора (не показан) с отрицательным полюсом на изношенном колесе 3. Колесо 1 имеет привод (не показан) с возможностью вращения его в направлениях 5 по командам от регулятора реверса 6. На колесе 3 установлен тормоз 7 с регулятором 8 контактного давления между зубьями зубчатых колес 1, 3. Боковой зазор 9 регистрируется датчиком 10, который соединен с выключателем процесса нанесения покрытия 11.

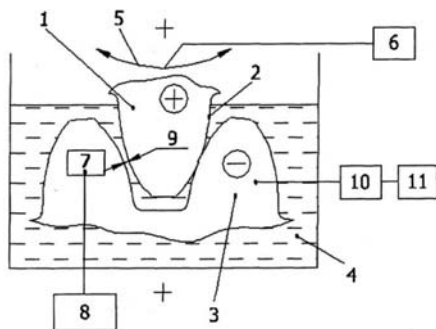


Рисунок. Схема способа восстановления профиля зубчатых колёс

Способ осуществляют следующим образом. На кондиционное колесо 1 наносят гальванически или напылением слой титана 2 с толщиной, обеспечивающей сплошное покрытие рабочего профиля зубьев, но не более допуска на профиль зуба, после чего пассивируют поверхность покрытия по технологии [1]. Способ позволяет сохранить токоподвод к колесу 1, но не исключает его растворение и нарушение качества поверхностного слоя. Колеса 1 и 3 устанавливают в рабочее положение на установке, подключают, например, гибким проводником к источнику постоянного тока с отрицательным полюсом на изношенном колесе 3, наливают в установку стандартный электролит [1], подключают привод с возможностью реверсивного вращения 5 колеса 1. В момент переключения вращения (при реверсировании) сопротивление вращению возрастает за счет инерционных сил, что фиксируется регулятором 8. В процессе нанесения на колесо 3 покрытия зазор 9 снижается, поэтому требуется его фиксация регулятором 8 при минимальном интервале между измерениями. Таким минимальным интервалом является полный оборот колеса большего диаметра, что определяет период реверса. Устанавливают на регуляторе 8 величину давления между зубьями по [1,2]. Регулятор 8 передает команду на тормоз 7, установленный на колесе 3. Включают ток на колеса 1 и 3, реверсивное вращение колеса 1. В момент переключения направления вращения регулятором 6 при наличии между

зубьями зазора 9 движение колеса 1 ускоряется, что фиксируется датчиком 10. По мере нанесения на рабочий профиль колеса 3 слоя гальваномеханического покрытия, например хрома, величина зазора 9 будет снижаться до плотного прилегания рабочих поверхностей зубьев при обеих направлениях вращения колес 1 и 3. При устранении бокового зазора 9 датчик 10 подает команду выключателю 11 на прекращение процесса осаждения покрытия на колесо 3. Далее отключают колеса 1, 3 от источника тока, снимают тормоз 7, датчик 10 с выключателем 11, регуляторы 6, 8, вынимают зубчатую передачу из ванны установки, промывают ее и ставят в корпус передачи. Покрытие 2 на колесе 1 не удаляется, так как оно улучшает эксплуатационные характеристики передачи (исключает схватывание металла в местах контакта силовых передач, может защищать от коррозии).

Таким образом, технология восстановления зубчатых передач комбинированным методом будет состоять из следующих этапов:

#### Подготовительный этап

- Получение сведений о зубчатом зацеплении (характеристики зубчатой передачи, технические требования к передаче)

- частичная разборка узла с целью доступа к зубчатой передаче;

- Промывка механизма в промывочном растворе, например ОП7, при температуре 60 0С, и очистка передачи;

- дефектация зубчатых колёс: определение нарушения геометрии профиля эвольвенты – чаще косвенно через степень контакта зубьев; определение геометрических размеров путём замера толщины зуба по начальной окружности или измерение зазора путём прокатывания вязких материалов (свинца) через диаметр начальной окружности. Определение дефектов (выходит ли профиль зуба за пределы допуска, и есть ли запас для ремонта по толщине зуба и др.);

- обоснование вида восстановления профиля зуба: возможно ли восстановление без замены одного из колёс; требуется ли переборка передачи для этого; нужно ли заменять подшипники узла на диэлектрические втулки; нужна ли защита от анодного растворения одного из колёс;

- выбор схемы обработки;

- расчёт режимов восстановления безазорных передач;

#### Рабочий этап (на оборудовании):

- подсоединение токоподводов к валам и колёсам передачи;

- регулировка момента сопротивления передачи;

- установка привода для передачи;

- пассивация (при необходимости) одного из колёс;

- подвод рабочей среды;

- установление режимов обработки на установке;

- контроль и поддержание режимов во время обработки на оборудовании.

#### Заключительный этап

- контроль отсутствия бокового зазора зубчатой передачи;

- проверка точности восстановления передачи: по степени контакта зубьев (норма контакта зуба например, для 7 степени точности по длине, - более 65%,

по высоте- более 60%);

- удаление элементов, установленных для восстановления, рабочей среды;
- промывка восстановленной зубчатой передачи;
- оформление документации для сдачи восстановленного узла заказчику.
- испытание узла в случае необходимости проводится на испытательном стенде. При этом момент трения в любом угловом положении зубчатой пары должен быть не более 0,4 Н·м.

По сравнению с традиционными методами, основанными на механической обработке, представленный способ отличается увеличением кинематической точности колес на 1-2 квалитета, а так же достижением величины степени контакта зубьев до 95-100%.

Комбинированная обработка дает возможность исправить погрешности, возникающие на этапе сборки, так как на тех участках, где нарушена точность, будет происходить изменение давления зубьев друг на друга. В соответствии с особенностями процесса анодного растворения, в этой зоне произойдет повышенный сьем материала, т.е. снизится погрешность профиля. В зависимости от ситуации, можно избежать разборки редуктора и сопутствующих операций (сборки, комплектации, восстановления баз). В свою очередь, это позволит избежать погрешности, возникающей при напрессовке колес во время сборки, а так же вероятности потери установочных баз. Исключить вышеперечисленные операции можно будет при условии, что зубчатые колеса можно очистить и замерить без разборки редуктора. Масса и габариты редуктора, а также возможности измерительного инструмента являются основными ограничениями в данной ситуации

### **Литература**

1. Смоленцев Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки М.: Машиностроение, 2005. 511 с

2. Смоленцев Е.В. Проектирование комбинированных методов обработки для типовых процессов/ Е.В. Смоленцев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №2-3, 2012. С. 43-49

УДК 621.762.8

## **ОСОБЕННОСТИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЛАТУНЬЮ ПОРИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

Соловьева Е.В.

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет  
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина 3

*Исследованы особенности структуры и свойств композиционных материалов, дополнительно легированных никелем, медью и молибденом после инфильтрации.*

*Features of structure and properties of the composite materials, which are in addition alloyed by nickel, copper and molybdenum after an infiltration are investigated.*

Ключевые слова: Композиции, порошки железа, структура, легирование, инфильтрация.

В машиностроении находят применение композиционные материалы на основе железа, полученные инфильтрацией медными сплавами заготовок, изготовленных путем прессования и спекания смесей железных порошков и легирующих элементов (Mo, Ni и других) [1-3]. Развитие этого направления обусловлено новыми возможностями управления составом, структурой и формой изделий, которых не имеется в традиционных технологиях прессования и спекания. Новые технологические и эксплуатационные свойства изделий могут быть получены, если использовать инфильтруемые заготовки с размером пор в 10 и более раз меньше размеров пор материалов, полученных из порошков средней дисперсности. Такие материалы могут быть получены по технологии, описанной в работе [4-5]. В этих материалах железо присутствует в двух видах:

а) спеченный каркас из порошков средней дисперсности (50-150 мкм);

б) губчатое железо, полученное восстановлением оксидов углеродом – продуктом пиролиза терморезактивной смолы – связующего.

При этом губчатое железо расположено в промежутках, между частицами железа средней дисперсности. Инфильтрация таких материалов до сих пор не исследовалась. Изучение ее особенностей и является целью настоящей работы.

В качестве исходных материалов для получения заготовок использовались: порошок железа марки А100S; изготовитель «Höganäs», Швеция; порошок оксида железа (II, III) окись ElectrOxide 20 ( $Fe_3O_4$ ), изготовитель «Höganäs», Швеция; смола фенолформальдегидная жидкая, марка СФЖ-301Б. Композиции формовались прямым компрессионным прессованием в бруски размерами 10x10x55 мм. Полученные бруски подвергались термической обработке в три стадии: на I-й стадии образцы нагревались без доступа воздуха; на II-й стадии в вакууме; на III-й стадии спекались в среде эндогаза.[6] Исследование процесса инфильтрации проводилось на специально спроектированной и изготовленной установке, схема которой приведена на рис.1.

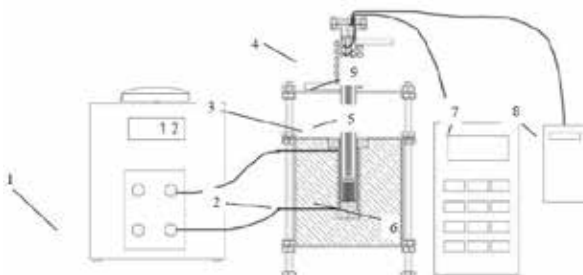


Рис. 1 Схема установки для инфильтрации



Установка состоит из 6 основных частей (рис. 1): Преобразователь напряжения ЛАТР – 1, шахтная минипечь – 2, термостойкий герметичный контейнер – 3, охладительная спираль – 4, индикатор температуры – 7, сигнализатор – 8.

В цилиндрический герметичный контейнер 3 устанавливали образец 6 с размерами 10x10x15 мм с размещенным сверху инфильтратом (латунь Л63). Внутри контейнера 3 помещен шуп 5 с расположенной внутри термопарой 9 для фиксации момента расплавления инфильтрата и температуры. Собранный контейнер закрывался водо-охлаждаемой крышкой 4 и полученную сборку устанавливали в нагревательную шахтную минипечь 2. Нагрев до температуры расплавления материала инфильтрата осуществляется по заданному режиму. После достижения требуемой температуры и выдержки, нагрев отключали, вынимали и охлаждали контейнер до комнатной температуры. Затем открывали контейнер и вынимали инфильтрованную деталь.

В работе исследовались механические свойства материала после дополнительного легирования Ni, Mo, Cu. Легирование осуществлялось путем введения в композиции порошков легирующих элементов на стадии смешивания. Структура композиционного материала (рис. 2.) состоит из частиц железа (30÷150 мкм), окруженных медной фазой и частиц, выделившихся при кристаллизации расплава при инфильтрации. Легирующие компоненты приводят к измельчению частиц железного каркаса.

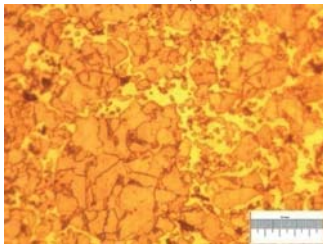


Рис. 2. Структура композиции легированной Ni, Mo, Cu после инфильтрации. x400

Применение дополнительного легирования позволяет существенно повысить механические свойства материала: твердость HB = 300 МПа, предел прочности при растяжении,  $\sigma_B = 720$  МПа, ударная вязкость KCU = 8 Дж/см<sup>2</sup>. Это находит подтверждение при измерении микротвердости каждой отдельной фазы материала. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Микротвердость КМ с применением дополнительного легирования

	Разработанный КМ
Частица Fe (~100 мкм)	173,4 МПа
Частица железа легированная медным сплавом (Fe+Cu)	328,2 МПа
Фаза на основе меди	146,9 МПа

Результаты испытаний показали, что применение дополнительного легирования никелем, медью и молибденом позволяет повысить механические свойства материала, которые по своим значениям не уступают свойствам легированных сталей (40X).

### Литература

1. Дьячкова Л.Н., Витязь П.А., Воронежская Л.Я. Псевдосплавы сталь-медный сплав антифрикционного назначения // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. Материалы докладов 10-й международной науч.-техн. конф. Минск, 12-14 сентября 2012 г., Минск, 2012 – с.52-54.
2. Звонарев Е.В. Инфильтрованные материалы и их применение / Е.В. Звонарев, Л.Н. Дьячкова, В.М. Шенкина, Г.А. Миронович // Порошковая металлургия. Минск, 2004, № 27, с. 95-99.
3. L.N. Dyachkova. Effect of Steel Skeleton composition on the triboengineering properties of steel copper pseudo alloys produced by infiltration / L.N. Dyachkova, L.F. Kerzentseva, P.A. Vityaz //Jornal of Friction and wear. 2010, Vol 31, №4, - p. 270-275.
4. Головин С.А., Зуев В.С. Проблемы прочности, 1976, №1, с. 23-26.
5. Спеченные материалы для электротехники и электроники: Справочник под ред. Гнесина Г.Г. / М. Металлургия, 1981, с. 344.
6. В.А. Довыденков, Е.В. Соловьева. Пропитка латунью заготовок на основе губчатого железа. М 341 Материалы I-ой Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве» (Чебоксары 22-24 октября 2015 г.): под ред. д.т.н., проф. И. Е. Илларионова. – Чебоксары: Чуваш.гос. ун-та, 2015. -416 с., с. 326-331.

УДК 621.762.8

### **ЭФФЕКТ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПСЕВДОСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

Соловьева Е.В.

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет  
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина 3

*Исследованы особенности структуры и свойств композиционных материалов, проведен расчет температурный эффекта реакции при инфильтрации псевдосплавов на основе железа.*

*Features of structure and properties of composite materials are investigated, calculation temperature effect of reaction is carried out at an infiltration of psvedosplav on the basis of iron.*

Ключевые слова: Псевдосплав, высокодисперсное губчатое железа, температурный эффекта реакции, инфильтрация.

Псевдосплавы на основе железа и меди находят все большее применение в промышленности, благодаря сочетанию необходимых эксплуатационных характеристик, недостижимых в традиционных материалах, а также высокой рентабельности их использования. В большинстве случаев инфильтрации подвергают заготовки, изготовленные из порошков средней дисперсности с преобладающим размером частиц 30-150 мкм. Такие материалы достаточно полно исследованы, теоретически и экспериментально определены параметры технологии и состава для производства изделий широкой номенклатуры с заданными свойствами. Можно предположить, что процесс инфильтрации каркасов с порами, размерами менее 1 мкм будет иметь свои особенности, обусловленные размерными факторами [1-3].

Структура композиций после инфильтрации определяется кинетикой процессов, а также процессами взаимного растворения компонентов псевдосплава, которые отчетливо прослеживаются после инфильтрации при 950°C, с последующей изотермической выдержкой 15,30,60,600 секунд.

В качестве исходных материалов для получения заготовок использовались: порошок железа марки А100S; изготовитель «Höganäs», Швеция; порошок оксида железа (II, III) окись Electr Oxide 20 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), изготовитель «Höganäs», Швеция; смола фенолформальдегидная жидкая, марка СФЖ-301Б. В качестве материала для инфильтрации использовалась латунь Л63 с плотностью  $\rho = 8,44 \text{ г/см}^3$ . Плотность образцов до инфильтрации составляла 5,23 г/см<sup>3</sup>. Перед инфильтрацией определяли объем открытой пористости методом гидростатического взвешивания и рассчитывали объем инфильтрата.

На рис. 1 приведены структуры композиций после инфильтрации с различным временем выдержки.

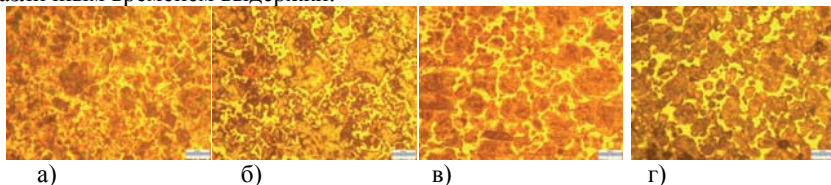


Рис 1. Структура композиций после инфильтрации с различным временем выдержки: а) выдержка 15 секунд при  $t=950^\circ\text{C} \times 200$ , б) выдержка 30 секунд при  $t=950^\circ\text{C} \times 200$ , в) выдержка 60 секунд при  $t=950^\circ\text{C} \times 200$ , г) выдержка 600 секунд при  $t=950^\circ\text{C} \times 200$ .

Исследования показали, что инфильтрация латуни при 950°C в субмикропоры заканчивается уже в течении 15 секунд, далее латунь растворяет губчатое железо, находящееся на поверхности субмикропор, в результате чего области заполненные медным сплавом увеличиваются. Также протекает процесс растворения меди в железе. При охлаждении растворенное железо

выпадает из раствора в виде частиц, диаметром  $1\div 3$  мкм при выдержке 30 секунд, и в виде частиц, диаметром  $5\div 8$  мкм при выдержке 600 секунд.

Высокодисперсное губчатое железо растворяется в инфильтрате, а при охлаждении из раствора выделяется фаза богатая железом. Для полного растворения губчатого железа меди недостаточно. Фактором, повышающим долю растворенного железа, может быть локальное повышение температуры за счет превращения в теплоту энергии равной разнице между поверхностной энергией высокодисперсного губчатого железа и энергией межфазных границ железо-инфильтрат. Оценим величину возможного увеличения температуры в процессе инфильтрации губчатого железа. Для этого сначала определимся с фазовым составом композиции.  $1\text{ см}^3$  спеченной композиции имеет массу 5,346 г и содержит железо средней дисперсности с массой 4,45 г и губчатое железо (размер частиц около 1 мкм) массой 0,896 г. Объемное содержание указанных выше фаз составляет: железо средней дисперсности -  $0,57\text{ см}^3$ ; губчатое железо (вместе с порами) -  $0,43\text{ см}^3$ ; поры -  $0,315\text{ см}^3$ ; губчатое железо без пор -  $0,115\text{ см}^3$ .

В процессе инфильтрации на поверхности реагирующих компонентов происходит ряд химических реакций, приводящих к фазовому равновесию с новым энергетическим балансом:  $E_1 + E_2 = E_3 + E_4 + E_T$ ;  $E_1$  – энергия поверхности губчатого железа,  $E_1 + E_2 = E_3 + E_4 + E_T$ ,  $E_1$  – энергия поверхности губчатого железа,  $E_2$  – энергия поверхности железа средней дисперсности;  $E_3$  – энергия межфазной границы «кристаллизованное железо – латунь»;  $E_4$  – энергия межфазной границы «железо средней дисперсности - латунь»;  $E_T$  – тепловой эффект реакции. Расчеты показали, что  $E_1 \gg E_2 + E_3 + E_4$  и тепловой эффект реакции приблизительно равен  $E_1$ .

Теперь можно рассчитать температурный эффект реакции, как величину:  $\Delta T = \frac{E}{c}$ , где  $c$  – теплоемкость латуни ( $0,385\text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ ). Во время инфильтрации и растворения губчатого железа тепловая энергия равная  $E_1$  нагревает губчатое железо и латунь, в результате чего температура этих фаз повышается. Повышение температуры железа средней дисперсности за счет теплопередачи на данном этапе не учитываем. При инфильтрации выделяется энергия  $E = S \cdot E_1$ , Дж, где  $S$  – площадь поверхности губчатого железа;  $E_1=1,95$  – поверхностная энергия губчатого железа. Учитывая, что теплоемкость латуни  $0,385\text{ кДж/кг}\cdot\text{°C}$  получаем:  $\Delta T = 63,49\text{°C}$ . Очевидно, что при уменьшении размеров частиц губчатого железа в несколько раз - во столько же раз изменится величина  $\Delta T$  в сторону увеличения.

### Литература

1. Дьячкова Л.Н., Витязь П.А., Воронцов Л.Я. Псевдосплавы сталь-медный сплав антифрикционного назначения // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. Материалы докладов 10-й международной науч.-техн. конф. Минск, 12-14 сентября 2012 г., Минск, 2012 – с.52-54.

2. Звонарев Е.В. Инфильтрованные материалы и их применение / Е.В. Звонарев, Л.Н. Дьячкова, В.М. Шенхина, Г.А. Миронович // Порошковая металлургия. Минск, 2004, № 27, с. 95-99.

3. L.N. Dyachkova. Effect of Steel Skeleton composition on the triboengineering properties of steel copper pseudo alloys produced by infiltration / L.N. Dyachkova, L.F. Kerzentseva, P.A. Vityaz //Jornal of Friction and wear. 2010, Vol 31, №4, - p. 270-275.

## **ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИСИЛИКАТОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН**

Сударев Юрий Иванович

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса 10

Лощакова Эльмира Увильевна, Мамаков Виталий Юрьевич,  
Хамраев Бахтияр Бахадурович

ЛФ Казанского национального исследовательского технического  
университета им. А.Н. Туполева (ЛФ КНИТУ-КАИ)  
423250, г. Лениногорск, пр.Ленина 22

Аннотация. Целью разработки является создание теплоизоляционных материалов с улучшенными техническими и эксплуатационными свойствами. Поставленная задача достигается за счет использования в качестве связующего оптимальных технологических составов на основе полисиликатов натрия и алюминизированных полисиликатов, а в качестве наполнителя - базальтовых волокон.

Annotation. The purpose under discussion is the development of insulation materials with impro-ved technical and performance properties. The task is achieved by the use as binder of optimal technological such structures on the basis of polysilicates, sodium aljmolypolysilicates and the aluminized, and basalt fibers.

Ключевые слова: связующие, полисиликаты, структуры, свойства.

Целью обсуждаемой разработки является создание теплоизоляционных материалов с улучшенными техническими и эксплуатационными свойствами. Поставленная задача достигается за счет использования в качестве связующего оптимальных технологических составов на основе полисиликатов натрия (ПС) и алюминизированных полисиликатов (АПС) и базальтовое рубленое волокно. Полисиликаты – это высококремнеземистые стекла представляют переходную область составов от жидких стекол к золям поликремниевой кислоты. Структурным элементом полисиликатов является кремнекислородный тетраэдр. Они содержат полимерные анионы,

имеют размер первичных частиц в диапазоне 4 - 5 нм, силикатный модуль от 4 до 25 и классифицируются как наноматериалы.

Искусственные материалы, сочетающие в матрице твердый наполнитель и газ, появились в начале 30-х годов прошлого столетия и были обозначены как «губки» или «пены» [1]. Вспененные материалы на основе силикатов получают путем их обезвоживания. Если при обезвоживании силикатов давление насыщенного пара будет выше атмосферного, то происходит вспенивание материала. Это явление используется при получении пористых материалов [2-3]. Для определения совместимости полисиликатов и алюминизированных полисиликатов с базальтовым волокном был определен угол смачивания. Независимо от типа используемого полисиликата в качестве связующего угол смачивания варьировался в пределах  $29^{\circ}$ , что говорит о хорошей смачиваемости базальтового волокна полисиликатами. Высокая смачивающая способность создает условия для проявления сил адгезионного взаимодействия между базальтовым волокном и связующими на основе полисиликатов. Характер сцепления между упрочняющими частицами и матрицей изучали на моделях. В качестве моделей композиционного теплоизоляционного материала использовался пучок базальтовых волокон, пропитанных ПС и АПС связующими. Образцы испытывались на разрыв и на растяжение, -данные представлены на рис. 1-2.

На основе полученных данных были разработаны составы для изготовления теплоизоляционных материалов, содержащих ПС и АПС связующих, а в качестве наполнителя базальтовое волокно

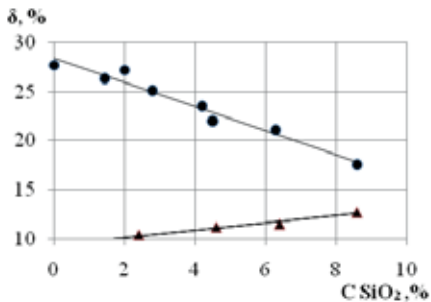


Рис.1. Зависимость относительного удлинения от концентрации ПС  
● – без скрутки, ▲ – со скруткой.

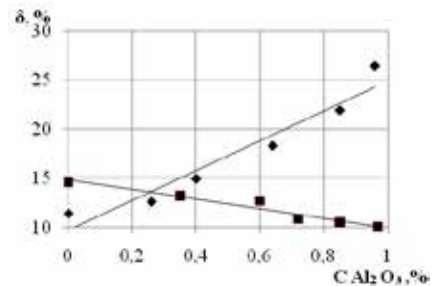


Рис.2. Зависимость относительного удлинения от количества Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в АПС связующем  
◆ – без скрутки, ■ – со скруткой

На рис.3 представлены атомно-силовые-микроскопические снимки ПС и АПС связующих.



а) ПС АПС б) ПС АПС

Размер частиц в областях: а) 60-610 нм. б) 110-380 нм.

Рис. 3 Атомно-силовые-микроскопические снимки образцов ПС и АПС сделаны на сканирующем зондовом микроскопе « Multimode V » :

а) до диспергирования; б) после ультразвукового диспергирования.

Составы для изготовления ТИМ получают путем перемешивания компонентов до однородной пластичной массы. После придания формы образцы просушиваются (температура и время зависят от вида связующего). Далее композиции подвергаются термообработке в СВЧ–печи при частоте 245 МГц и удельной мощности излучения 40 кВт/л в течение 20 мин. Теплоизоляционные материалы имеют плотность от 120 до 250 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,042 - 0,045 Вт/мК, водопоглощение (при нахождении в воде за 24 ч.) до 7% и прочность до 3,5 МПа. Плотность теплоизоляционного материала, предел прочности при сжатии и водопоглощение за 24 часа определялись согласно ГОСТ 17177-87, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии при температуре 20±5<sup>0</sup>С по ГОСТ 7076-87, группа горючести по ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. (Физико-механические характеристики зависят от соотношения: связующее – наполнитель, а также от заполнения прессформ).



Составы для изготовления теплоизоляционного материала получали путем перемешивания компонентов до однородной пластичной массы с помощью ультразвукового диспергирования. Полученную однородную массу помещали в форму, коэффициент заполнения форм составлял 0,3-0,35 объема, и выдерживали в течение 3 часов для равномерного их заполнения. Заполненные формы подвергали термообработке в СВЧ-печи при частоте 2450 МГц и удельной мощности излучения 40 кВт/л в течение 20 мин. Плотность

теплоизоляционного материала, предел прочности при сжатии и водопоглощение за 24 часа определялись согласно ГОСТ 17177-87, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии при температуре  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  по ГОСТ 7076-87, группа горючести по ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ.

Полученные композиционные теплоизоляционные материалы на основе полисиликатов с использованием базальта в виде плит и гранул могут применены; для тепловой изоляции промышленного оборудования, в качестве теплоизоляционного слоя панелей наружных стен зданий, кровель и т.д.

### Список литературы

1. Шилл Франтишек. Пеностекло ( производство и применение ) М.Стройиздат, 1965, с.307.
2. Лейченко И.Я., Меркин А.П. и др. Строительные материалы.1976, №9, с. 23-25.
3. Петраков Б.Н., Лопаткин А.В. Цемент, 1993, № 9, с. 38-39.

УДК 629. 735.45

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЮРО (СКТБ) ПО ДОРАБОТКЕ ВЕРТОЛЁТА МИ-34

Тарасов Андрей Петрович – инженер-конструктор ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;

Кумченко Иван Игоревич – инженер-конструктор ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;

Матвеев Анатолий Валерьевич – инженер-технолог ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве.

Научные руководители: Денисенко Юрий Петрович – управляющий директор ПАО ААК «ПРОГРЕСС»; Бердиев Олег Шамильевич – заместитель директора филиала ДВФУ в г. Арсеньеве по НИР и развитию

Публичное акционерное общество «Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина» (ПАО ААК «ПРОГРЕСС»), 692335, Приморский край, г. Арсеньев, пл. Ленина, 5

Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» в г. Арсеньеве ул. Островского, д. 20, г. Арсеньев, 692331

Дается анализ разработки и оценки целесообразности возрождения на предприятии производства лёгкого многоцелевого вертолёта Ми-34 на основе



замены штатного бензинового двигателя М-14 на дизельный двигатель REDA03 V12. Описаны направления исследований по особенностям конструкторской и технологической доработки сопутствующих изменений корпусных элементов фюзеляжа, моторами, агрегатов, приборов и систем, сопряженных с заменяемым двигателем.

*Ключевые слова:* полимерный фюзеляж, формообразующая поверхность, композитная панель, гидроабразивная резка, разнородные наполнители, накладки.

The analysis of the development and evaluation of the feasibility of reviving the company manufacturing light multi-purpose helicopter Mi-34 on the basis of the replacement of the petrol engine M-14 diesel engine RED A03 V12. We describe the characteristics of research on the design and technological improvements related changes in body elements of the fuselage, engine mounts, assemblies, devices and systems associated with the engine replaced.

*Keywords:* Plastic fuselage molding surface, composite panels, water jet cutting, heterogeneous fillers, lining.



Рис. 1. Лёгкий вертолёт

учебно-тренировочной подготовки и для спортивных целей. Причина прекращения производства Ми-34: эксплуатация установленного на нем штатного бензинового двигателя М-14 выявила его маломощность, что резко ограничивало диапазон применяемости летательного аппарата и покупательский спрос.



Рис. 2.  
Авиадвигатель  
RED A03 V12

**Введение.** Сегодня начинающим отечественным вертолётчикам приходится осваивать технику пилотирования на французских, немецких и американских летательных аппаратах. Между тем еще недавно Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина (далее ААК «Прогресс») в г. Арсеньева Приморского края выпускал легкий и маневренный вертолёт Ми-34 (рис.1) для

Главная идея – применить дизельный двигатель (отечественного производства). В России применение авиадвигателя RED A03 V12 (рис. 2) началось с учебно-тренировочного самолёта Як-52 (рис.3).

**Решение задачи.** Сторонами исследовательского проекта на предварительной стадии согласования технического задания принято решение, что в проектируемом варианте тактико-технические характеристики (ТТХ) не должны уступать показателям модификаций вертолетов Ми-34С1 и Ми-34С2: двигатель – М9ФВ (Argius-2F); мощность двигателя – 365 (504) л.с.; максимальная скорость – 215 (265) км/ч; крейсерская



Рис. 3. Самолёт Як-52

скорость – 195 (220) км/ч; статический потолок (без влияния земли) – 1375 (3900) м; полная загрузка 350 (600) кг; дальность полета 610 (850) км; количество пассажирских мест с пилотом 4 (4–5) [3].

Фирмой Raikhlín Aircraft Engine Development освоено производство авиационного дизельного двигателя RED A03 V12 (рис.2). Кроме того, правительство Республики Татарстан рассматривает

варианты серийного производства этого двигателя совместно с немецкими разработчиками из Raikhlín Aircraft Engine Development на одном из машиностроительных предприятий столицы Республики Татарстан.

В Российской Федерации испытания модели RED A03 V12 уже успешно проведены на учебно-тренировочном самолете Як-52 (рис. 3). В самолётном варианте основанием выбора RED A03 V12 послужило главное конкурентное преимущество дизельного двигателя, которое заключается в низком удельном расходе топлива. Так, по сообщению разработчика, на испытаниях в Германии RED A03 V12 «потреблял» 160 граммов топлива на лошадиную силу в час. Турбовинтовой двигатель аналогичной мощности имеет расход на 50–60% больше. Это позволяет самолету с дизелем за час полета в крейсерском режиме экономить 45–50 кг топлива. По информации разработчика, при суммарном налете 10 тыс.ч. это обычно соответствует назначенному ресурсу летательного аппарата авиации общего назначения (АОН), поэтому двигатель RED A03 V12 позволяет экономить на топливе 700–800 тыс. долл. Слабое же место современных дизелей – недостаточно высокая надежность. При создании RED A03 V12 этой проблеме разработчики уделяли особое внимание, поэтому системы двигателя имеют два независимых контура, что обеспечивает высокий уровень безопасности: в случае отказа какого-либо агрегата двигатель сохраняет работоспособность и дает летательному аппарату (ЛА) возможность благополучно завершить полет [1].

### Обсуждение результатов

Повторим: в России и мире о применении авиационного дизельного двигателя в конструкции вертолёта в авиастроении известно крайне мало. Даже первые прикидки при работе по варианту технического задания на ЛА показывают, что замена двигателя М-14 на RED A03 V12 потребует значительного изменения архитектуры и объёма моторного отсека вертолёта (см. на рис. 5 и рис. 6 положение двигателей относительно стенок фюзеляжа вертолёта), поскольку для монтажа нового двигателя потребуется изменить расположение сопряжённых несущих узлов фюзеляжа. Новый двигатель, масса которого более чем на 35% превышает массу М-14, неизбежно потребует иного варианта соединения с редуктором, прокладки тоннелей системы охлаждения воздушно-жидкостного радиатора и корректировки состава приборного оборудования, сопряжённого с новым двигателем. Монтажные и

эксплуатационные зоны и люки доступа к системам двигателя обязательно подвергнутся существенным изменениям.

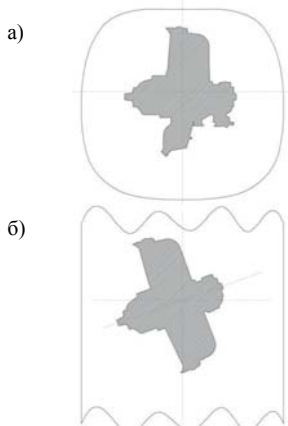


Рис. 5. Двигатель М-14:

а) – поперечный разрез по оси;  
б) – вид сверху.

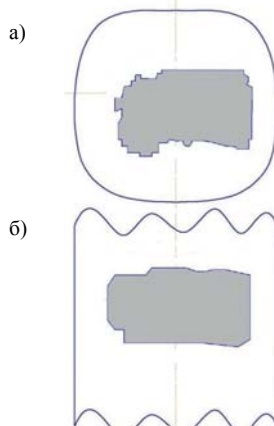


Рис. 6. Двигатель RED A03 V12

а) – поперечный разрез по оси;  
б) – вид сверху.

Безусловно, что новый порядок расположения двигателя, редуктора, сопряжённых систем и магистралей способен повлиять на балансировку летательного аппарата. Следовательно, новый порядок расстановки, монтажа, крепления и эксплуатационного обслуживания агрегатов и приборов повлечёт за собой изменение размеров траекторий расположения систем (электрической, топливной, гидравлической), которое «потянет» за собой существенную коррективную конструкцию фюзеляжа вертолёта, начиная с моторного отсека.

СКТБ обладает определёнными инновационными наработками по созданию панелей из ПКМ, что позволяет планировать применение лёгкой пластиковой технологической оснастки для получения крупногабаритных панелей с готовой формообразующей поверхностью, с разновысокими фрагментами и применением разнородных наполнителей (и металлов в накладках) и вмонтированных в панели узлов. Причём при операциях по точному раскрою панелей или удалению припусков может применяться гидроабразивная резка (ГАР) [2, 4-5]. Поэтому дальнейшая работа будет направлена на совершенствование проекта.

Так, в 2016–2017 году СКТБ предполагает дополнить проект НИР заменой металлического клепаного фюзеляжа Ми-34 на полимерный фюзеляж, клепаного оперения вертолёта – на панелированную конструкцию из композитных панелей с разнородными наполнителями и металлическими накладками. Эта замена не только позволит облегчить конструкцию и улучшить массовые и эксплуатационные характеристики летательного аппарата, но и добиться соответствия требованиям современного производства и рынка.

**Выводы:** В результате проведённого анализа сравнения архитектуры и характеристик двигателей М-14 и RED A03 V12 инициаторы проекта пришли к выводу, что габаритные размеры существующего фюзеляжа позволяют вписать новый двигатель в конструкцию вертолѐта Ми-34.

В СКТБ распределены объѐмы проектирования среди участников проекта по доработке мотоотсека, а также металлического клѐпаного фюзеляжа. Решены организационные вопросы по доступу к технической документации базового предприятия. Проводится согласование тактико-технических требований по летательному аппарату и согласование показателей со службами базового предприятия. Выявленное превышение общей массы требует решения вопросов балансировки вертолѐта. У правительства Татарстана запрошена информация для организации совместной работы с предприятием – производителем авиадвигателя REDA03 V12.

В ближайшей перспективе намечено поэтапное выполнение следующих работ:

1. Получить разрешение разработчика и производителя двигателя REDA03 V12 с техническими документами на привязочные размеры в мотоотсеке для сохранившихся металлических клѐпанных фюзеляжей.

2. «Привязать» двигатель REDA03 V12 в мотоотсеке и разработать новую мотораму.

3. Стыковать новый двигатель с редуктором и проработать вывод на хвостовой винт.

4. Заново провести прокладку систем: гидравлической пневматической, топливной, управления двигателем,

5. Отработать перевод конструкции на изготовление из ПКМ.

Безусловно, замена двигателя REDA03 V12 (даже при существующем металлическом клѐпаном фюзеляже) позволит существенно повысить характеристики вертолѐта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерохин Е. ROTAX о замещении. Российские поршневые двигатели для лёгкой авиации и БЛА // Вzlѐт. 2015. №11 (131). С. 14–21.

2. Исследования сетки каркасов переменного сечения при изготовлении тонкостенных панелей из ПКМ/ Матвеев А.В., Кумченко И.И., Токарев Ж.В., Патронов Д.С., Тарабанова В.В., Денисенко Ю.П., Бердиев О.Ш. // Материалы Междунар. науч.-техн.конф. «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2015». Ч.1. Казань: Фолиант, 2015. С. 139–143.

3. Технические условия 303-0000-00 на контроль, приёмку и поставку вертолѐтов установочной серии вертолѐтов Ми-34С/ АО Московский вертолѐтный завод им. М.Л. Миля, 1996.

4. Сергиенко В.И., Денисенко Ю.П., Добржанский В.Г., Огнев Ю.Ф., Бердиев О.Ш., Душина Н.Е. Лабораторные испытания коррозионной стойкости лёгких сплавов методом соленого тумана путѐм моделирования

субтропического климата // Вестник Инженерной школы дальневост. федерал. ун-та. 2015. № 3 (24). С.85–91.URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-ediitions/3-24/8/> (дата обращения: 26.02.2016).

5. О снижении трудоёмкости и повышении качества операций обработки резанием крупногабаритных панелей из полимерных композиционных материалов на ОАО ААК «Прогресс/Марков Н.А., Шипитько И.А., Бердиев О.Ш., Средних В.П., Захарьяшев А.Я.// 12-я Междунар.конф. «Авиация и космонавтика-2013», 12–15 ноября 2013. Москва:тезисы докладов. СПб: Мастерская печати, 2013. С. 215–216.

## ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМООБРАБОТКОЙ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Тахавиев Марат Сафаутдинович, Галимова Назира Яхиевна,  
Адыева Назия Абдулхамитовна, Тукбаев Эрнст Ерусланович  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

**Аннотация.** Рассмотрена технология нанесения покрытий термообработкой. Определены оптимальные режимные параметры технологических процессов формирования покрытий.

**Annotation.** In report the technology of applying the heat treatment coatings is considered. The optimum operational parameters of technological processes for coating formation were determined.

Ключевые слова: технология нанесения покрытия, термообработка, полимерные порошковые композиции ППК.

При формировании покрытий из полимерных порошковых материалов используют технологию теплового воздействия, вследствие чего испаряются летучие фракции, частицы порошка расплавляются, материал растекается на поверхности изделия, протекают процессы структурных приращений, полимеризации, отверждения нанесенного слоя. Не всегда имеется возможность проводить нагрев в специализированных установках – камерах полимеризации. Возникает актуальная задача интенсификации процесса формирования покрытия, повышение его качества, особенно при нанесении на изделия со сложной геометрией поверхности.

Существуют способы и установки, предназначенные для ускорения процессов формирования полимерных порошковых покрытий путем воздействия на них ультрафиолетового, инфракрасного излучения. Каждый из способов обладает рядом преимуществ, однако имеются и недостатки:

- установка для УФ полимеризации полиэфирных покрытий на кромках щитовых изделий (патент SH №1688080 МПК F26B3/28, F26B9/06 от

30.10.1991). Способ применим только для лакокрасочных материалов УФ отверждения, причем возможна поляризация покрытия только на поверхности изделий плоской формы;

- способ отверждения порошкового покрытия, включающий этапы нанесения порошкового покрытия, отверждения покрытия БИК – излучением с регистрацией теплового излучения (патент RU №2350404С2 МПК В05Д3/02 от 27.03.2009). Способ не гарантирует качественное нанесение ППК на изделиях сложной формы;

- способ покрытия поверхности подложки ППК и формирования на ней гладкой пленки (патент RU № 2339461 МПК В05Д3/02 от 27.11.2005), включающий в себя – нанесение ППК, плавление и отверждение ППК, используя импульсное БИК излучение. Способ позволяет формировать покрытия также, в основном, на изделиях плоской формы;

- способ получения покрытий с контролируемым глянецом (патент №2367525 МПК В05Д1/12, В05Д3/06 от 20.09.2009). Нанесение ППК - облучение УФ при температуре близкой к температуре окружающей среды – ИК облучение или конвекция горячего воздуха – отверждение расплавленного покрытия УФ облучением. Способ не позволяет осуществлять качественное формирование покрытий на изделиях сложной геометрической формы. При применении способа требуется использовать специальные порошковые композиции УФ отверждения, которые в своем составе содержат фотоинициаторы, поглощающие УФ излучение. При этом образуются радикалы, инициирующие радикальную полимеризацию. Введение фотоинициаторов в состав пленкообразователя путем сухого смешивания в производственных условиях для получения покрытий не является оптимальным вариантом, так как требуется высокий профессионализм рабочего персонала, возможны ошибки при приготовлении композиций.

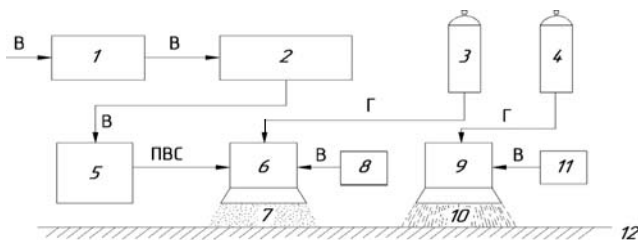


Рис. 1. Технология нанесения полимерных порошковых покрытий термогазоэлектростатическим способом.

Обозначение: 1 – блок подготовки воздуха; 2 – пневмопанель; 3 и 4 – газовые баллоны; 5 – устройство подачи ППК; 6 – первый ТГГ; 7 – факел заряженных частиц; 8 – вентилятор; 9 – второй ТГГ; 10 - горячий поток продуктов сгорания; 11 – вентилятор; 12 – поверхность.

Применительно для нанесения покрытий в полевых условиях на поверхность изделий сложной формы, большой площади, изготовленной из

разнообразных материалов, стен зданий и сооружений, дорожных покрытий предлагается технология нанесения ППК термогазоэлектростатическим способом, основанная на технологиях газопламенного и электростатического напыления (рис 1).

Первый термогазогенератор обеспечивает предварительный нагрев поверхности до необходимой температуры, второй – подачу заряженной воздушно – порошковой смеси на поверхность для окончательного формирования покрытия в течение короткого времени (несколько секунд).

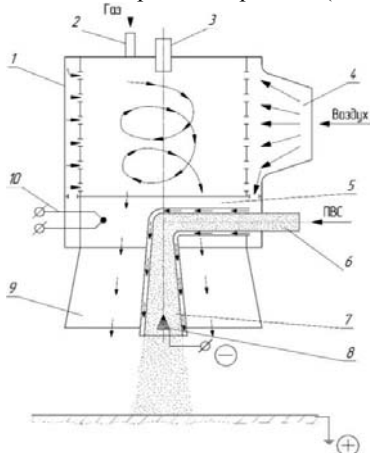


Рис.2. Термогазогенератор для нанесения ППК.

Обозначение: 1 – камера сгорания; 2 – канал подачи газа; 3 – электросвеча; 4 – канал подачи сжатого воздуха; 5 – технологический отсек; 6 – канал подачи ВПС; 7 – сопло для подачи заряженных частиц ППК; 8 – электроды высокого напряжения; 9 - формирующее сопло ТГГ; 10 – термopара.

На рис. 2 изображена схема термогазогенератора для нанесения ППК. Через боковое отверстие которого подводится воздух с помощью вентилятора, создается вихревой поток, расход воздуха 5-12 м<sup>3</sup>/ч, подводится пропан. При зажигании газо-воздушная смесь горит в форме цилиндрической спирали и по мере увеличения расхода воздуха горячий поток смеси отрывается от внутренней стенки камеры сгорания. (350-700 °С). Полное сгорание осуществляется в технологическом отсеке. На срез сопла через спиральный канал подается воздушно-порошковая смесь. Происходит нагревание и электрическая зарядка частиц ППК напряжением 30-70 кВ.

Основными параметрами, определяющими эффективность нанесения ППК являются: коэффициент осаждения  $K_o$  порошковой композиции на окрашиваемую поверхность, расход порошка  $Q$ , массовая скорость подачи ППК на подложку -  $q=Q/S_o$ , где: ( $S_o$  – площадь подложки), напряжение на электродах  $U$ , расстояние между срезом сопла и подложкой  $L$ .

Коэффициент осаждения ППК определяется из выражения:

$$K_0 = m/Qt,$$

где:  $m$  – масса осевшего порошка на подложке,  $Q$  – масса распыленного порошка,  $t$  – время.

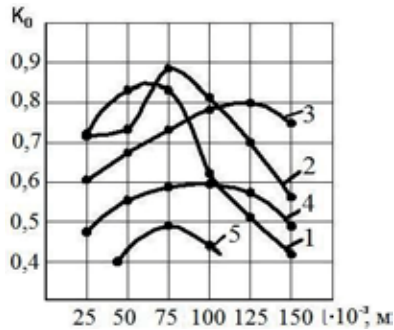


Рис.3. Зависимость  $K_0$  от расстояния между соплом и подложкой.

1 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 30$  кВ; 2 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 40$  кВ; 3 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 60$  кВ; 4 –  $Q = 10$  кг/ч,  $U = 60$  кВ; 5 –  $Q = 20$  кг/ч,  $U = 70$  кВ

Зависимость  $K_0$  от расстояния между соплом и подложкой представлена на рис. 3. По мере увеличения расстояния наблюдается экстремальный характер изменения  $K_0$ . Причем максимальный эффект осаждения проявляется при расходе порошка от 4 кг/ч до 10 кг/ч в интервалах изменения напряжения от 30 до 60 кВ и расстояния от 0,050 м., до 0,125 м., (1,2,3), а с повышением расхода порошка и напряжения величина  $K_0$  заметно уменьшается (4,5).

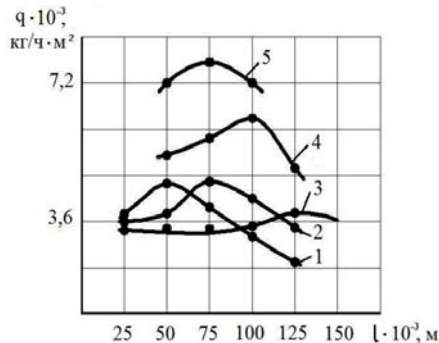


Рис.4. Зависимость изменения плотности потока ППК от расстояния между соплом и подложкой: 1 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 30$  кВ; 2 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 40$  кВ; 3 –  $Q = 4$  кг/ч,  $U = 60$  кВ; 4 –  $Q = 10$  кг/ч,  $U = 60$  кВ; 5 –  $Q = 20$  кг/ч,  $U = 70$  кВ

На рис. 4 представлена зависимость изменения плотности потока ППК от расстояния между соплом и подложкой. Анализ зависимостей (рис.4) показал,



что экстремумы плотности потока ППК ( $q$ ) при всех режимах нанесения проявляются в интервале изменения расстояния от 0,050 до 0,125 м.

Таким образом, для эффективного нанесения сплошных порошковых покрытий толщиной 100-200 мкм с гарантированным качеством необходимо учитывать ряд параметров. Максимальная эффективность осаждения ППК обеспечивается при изменении плотности потока ППК от 3,5 до 8,0 кг/ч·м<sup>2</sup>, расходе ППК от 4 до 10 кг/ч, напряжении электрического поля от 30 до 60 кВ и расстояния между соплом ТТГ и подложкой от 0,05 до 0,125 м.

Было разработано устройство для нанесения ППК электрогазопламенным способом, изображенное на рис.5., (патент на изобретение № 2600643).

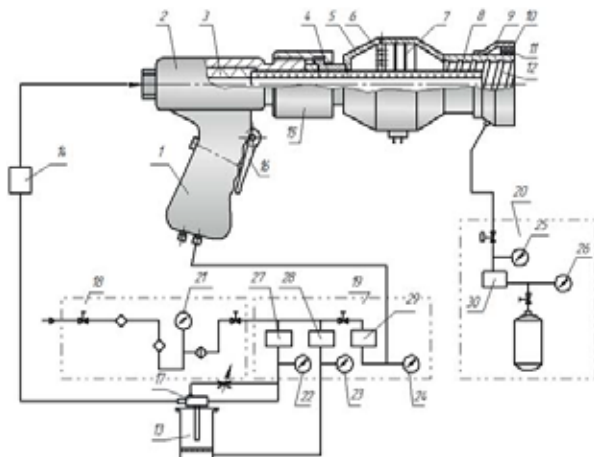


Рис.5. Устройство для нанесения покрытий из полимерных порошковых композиций электрогазопламенным способом: 1 – рукоятка; 2 – зарядный элемент; 3 – ствол; 4 – керамическая трубка; 5 – корпус узла нагрева; 6 – тороидальный коллектор; 7 – проволочные нагреватели; 8 – выходной насадок; 9 – корпус инфракрасного излучателя; 10 – керамическое кольцо инфракрасного излучателя; 11 – отверстия в керамическом кольце; 12 – винтообразные канавки; 13 – порошковый питатель; 14 – узел предварительного нагрева; 15 – муфта присоединительная; 16 – курок; 17 – эжекторный насос; 18 – блок подготовки воздуха; 19 – пневматическая панель; 20 – газовый блок; 21, 22, 23, 24 – манометры; 27, 28, 29, 30 – регуляторы давления.

Устройство для нанесения покрытий из полимерных порошковых композиций (рис.5) содержит рукоятку со смонтированным на ней зарядным устройством, ствол с центральным каналом внутри для потока распыляемой порошковой композиции, узел нагрева потока воздуха, где центральный канал

внутри ствола выполнен в виде керамической трубки с антифрикционным покрытием, узел нагрева потока воздуха включает корпус с расширяющимся входным и сужающимся выходным участками, внутри корпуса установлен тороидальный коллектор с рядом отверстий, оси которых направлены вдоль потока, за тороидальным коллектором установлены, по меньшей мере, два ряда проволочных нагревателей, на распыливающей насадке установлен инфракрасный излучатель, содержащий съемный корпус. Для беспламенного горения установлено керамическое кольцо.

Предложенная установка (рис.5) характеризуется универсальностью, модульностью, в частности, появляется возможность не заряжать частицы порошка и, соответственно, не использовать зарядное устройство. ИК излучатели могут работать как совместно с устройством, так и отдельно от него. С помощью установки можно реализовать следующие вспомогательные и основные операции технологического процесса с учетом природы и характеристик композиции, габаритов, геометрии и условий эксплуатации изделий, а также ряда других факторов:

- осушение и подогрев обрабатываемой поверхности материала с использованием, как тепла нагретых газов, так и инфракрасного излучателя;
- напыление порошковых композиций на предварительно нагретую поверхность (пневмонапыление);
- радиационное напыление композиций, когда нагрев и расплавление частиц порошка, а также термообработка материала покрытия производится с использованием лучистой энергии торцевого нагревательного элемента;
- термонапыление частиц порошковой композиции, расплавленных в рабочих полостях пистолета-распылителя при тепловом взаимодействии их с электронагревательными элементами;
- термогазоэлектростатическое напыление композиций, при этом в дополнение к предыдущему способу осуществляется зарядка частиц порошка и осаждение их на обрабатываемой поверхности;
- последующая термообработка изделия материала покрытия с использованием нагретых в пистолете-распылителе газов, либо инфракрасного излучателя или обоих этих способов.

Основными преимуществами разработанных технологий являются: высокая мобильность оборудования, универсальность компоновки, возможность получения качественных покрытий на различных по форме и размерам изделиях в стационарных и нестационарных условиях, снижение расхода ППК, короткий технологический цикл и высокая производительность процесса нанесения покрытий.

### Список литературы

1. Патент SH N1688080 МПК F26B3/28, F26B9/06 от 30.10.1991.
2. Патент RU №2350404C2 МПК B05D3/02 от 27.03.2009.
3. Патент RU № 2339461 МПК B05D3/02 от 27.11.2005.
4. Патент №2367525 МПК B05D1/12, B05D3/06 от 20.09.2009.

5. Патент №2600643 от 03.10.2016.

## **ОСОБЕННОСТИ СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ**

Тахавиев Марат Сафаутдинович, Галимова Назира Яхиевна,  
Адыева Назия Абдулхамитовна, Федяев Владимир Леонидович  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Рассматриваются способы и особенности нанесения полимерных порошковых покрытий.

Annotation. The report discusses specific features of methods of applying the polymer powder coatings.

Ключевые слова: способ нанесения полимерных порошковых покрытий (ППК), порошковые покрытия, классификация.

Продление сроков эксплуатации современной техники вызывает необходимость разработки и высокоэффективных методов защиты от коррозионно-эрозионных и других видов повреждений. К основным методам защиты от коррозии относят:

Легирование- получение коррозионностойких сплавов (нержавеющих сплавов путем присадок к железу никеля, хрома, кобальта;

Ингибирование – создание на поверхности металла тонкой пленки, которая оказывает воздействие на агрессивную среду, замедляя процессы коррозии;

Защитные покрытия – металлические, силикатные, жидкие лакокрасочные, ППК.

В последние десятилетия во всех промышленно развитых странах наблюдается стремительный рост объемов производства и применения полимерных порошковых композиций (ППК) и покрытий на их основе [1-4]. В настоящее время на долю технологий получения порошковых покрытий различного функционального назначения приходится до 20% всех окрашиваемых изделий и конструкций. Ежегодный прирост мирового производства ППК в среднем составляет около 10%.

Полимерные порошковые композиции представляют собой сыпучие мелкодисперсные материалы, обладающие однородностью, физической и химической стабильностью, неизменностью состава при хранении и использовании в течение гарантийного срока. В состав композиций входят пленкообразующие смолы, отвердители, пигменты, наполнители и другие добавки в определенных сочетаниях и соотношениях. Композиции получают смешением компонентов в расплаве с последующим измельчением до определенной степени дисперсности. ППК различаются составом, свойствами, цветом, степенью блеска, типом образуемых поверхностей, режимами

нанесения и пленкообразования, функциональному назначению [1].

Технологический процесс получения полимерных порошковых покрытий представляет собой последовательное проведение следующих основных операций: подготовка поверхности изделия, нанесение ППК на поверхность изделия, термическая обработка для формирования покрытия при оптимальных температурно-временных режимах, контроль его качества.

Соответственно, перед нанесением покрытия, исходя из конструкционных и материаловедческих особенностей изделия, условий его эксплуатации, требований, предъявляемым к покрытию, а также имеющихся технических возможностей необходим научно-обоснованный выбор типа порошковой композиции, способа подготовки обрабатываемой поверхности, метода нанесения порошка, формирования покрытия.

Исходя из анализа литературных данных, можно выделить четыре основных способа нанесения порошковых композиций:

1. Напыление насыпанием,
2. Напыление в псевдооживленном слое порошка,
3. Струйные методы напыления порошка,
4. Напыление в электростатическом поле.

Поскольку для образования полимерных покрытий на поверхности изделия необходимо чаще всего материал порошка размягчить, расплавить либо расплавить, термическое воздействие на него может быть реализовано за счет предварительно нагретой обрабатываемой поверхности. Таким образом, один из особенностей способов нанесения – предварительный нагрев обрабатываемой поверхности. Эта особенность реализуется при способе напыления насыпанием. (засыпка, насыпание, погружение, насыпание в поле центробежных сил, в электростатическом поле, вибронасыпание в электрическом поле).

Другая особенность - последующая термическая обработка изделия со слоем нанесенного полимерного порошка в нагревательных печах, либо расплавлением порошка с помощью переносных нагревательных устройств. Относится к способу напыления в электростатическом поле (напыление в электростатическом поле в псевдооживленном слое порошка, находящегося под действием коронного разряда эл. тока высокого напряжения; в псевдооживленном слое порошка, частицы которого заряжаются путем механической электризации; в ионизированном псевдооживленном слое (электрофорез); напыление в облаке заряженных частиц порошка над псевдооживленным слоем; струйном напылении в электростатическом поле; струйном напылении трибоэлектрическим пистолетом).

При этом следует иметь в виду, что во всех перечисленных случаях напыляемый порошок, в принципе, может быть предварительно подогрет. В частности, подогрев порошка осуществляется при напылении в псевдооживленном слое и при струйном напылении в электростатическом поле за счет тепла, выделяемого коронным разрядом.

С определенной степенью условности методы напыления можно подразделить на «холодные» и «горячие», когда нагрев, оплавление,

расплавление частиц порошка осуществляется: до подачи в пистолет, непосредственно в рабочих полостях пистолета, на выходе из него (методы газотермического напыления). При этом источником тепла служит пламя сжигаемого топлива (твердого, жидкого, газообразного), инфракрасное излучение сжигаемого топлива, джоулево тепло электрических нагревательных элементов, инфракрасное излучение нагретых электрических элементов сопротивления, плазма (сжатая электрическая дуга, пучок заряженных частиц), лазерное излучение.

Среди описанных методов напыления, такие методы, как напыление под действием центробежных сил в электростатическом поле, в псевдооживленном слое порошка, находящегося под воздействием коронного разряда, струйное напыление в электростатическом поле частиц, заряжающихся на коронирующих деталях пистолета можно, по существу, назвать комбинированными методами. Поскольку при реализации этих методов помимо основных факторов: центробежной силы, псевдооживления порошка, струйного течения газозвеси, задействованы дополнительные факторы - электростатическое поле, тепло коронирующих разрядов.

Таким образом, способ нанесения ППК является одним из слагаемых рационального и научно обоснованного выбора технологии нанесения покрытий.

### Литература

1. Яковлев А.Д., Машляковский Л.Н. Порошковые краски и покрытия. - СПб.: Химиздат, 2000. - 63 с.
2. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. - СПб.: Химиздат, 2008. - 448 с.
3. Порошковые краски. Технология покрытий. Пер. с англ. под ред. А.Д. Яковлева. - СПб.: Химиздат, 2001. - 253 с.
4. Галимов Э.Р., Зверев Э.В, Тукбаев Э.Е., Галимова Н.Я., Курынцев С.В., Мухин А.М. Полимерные порошковые покрытия специального назначения. – Казань: Офсет Сервис, 2012. - 164 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ В СРЕДЕ NX CAM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ СОГЛАСНО РЕКОМЕНДАЦИЯМ SANDVIK KOROMANT.**

Урманов Марат Данилович - магистр 1 года.

Научный руководитель - доц., канд. техн. наук Хусаинов Рустем Мухаметович.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета

423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д.68/19, кафедра  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»

Аннотация: В статье рассмотрен способ создания инструментальных сборок с привязкой к конкретным станкам и внедрение их совместно с режимами резания в систему NX CAM.

Abstract: The article describes how to create a tool assembly, taking into account the machine and how to put them together with the cutting conditions in the NX CAM system.

Ключевые слова: UNIGRAPHICS NX, модульные инструменты, сквозное проектирование.

Keywords: UNIGRAPHICS NX, modular instruments, end-to-end design.

В настоящее время на многих предприятиях активно применяется сквозное проектирование с использованием различных систем CAD/CAM/CAE. Данный метод позволяет охватить весь процесс изготовления детали (от планирования производства до выпуска готового изделия). При использовании данных систем необходимо иметь технологические ресурсы, одними из которых являются набор трехмерных моделей инструментов и режимы резания от поставщиков. На сайтах ведущих производителей инструментов имеется база инструментов, которую возможно использовать в CAM системах. Однако при добавлении их в библиотеку системы возникает ряд ошибок. Данные модели имеют различные расширения, а также существует проблема с распознаванием режущей части инструмента, местом его крепления и т.д. Эти проблемы увеличивает трудоемкость при подготовке к работе режущего инструмента в системе CAM.

В данной работе представлен метод создания инструментальной базы с использованием инструментального калькулятора Sandvik Coromant. В качестве программного обеспечения для создания базы будут использоваться Microsoft Access с использованием встроенного языка программирования VBA. Вся информация, касающаяся инструментов и инструментальной оснастки, использована с официального сайта <http://www.sandvik.coromant.com>.

Весь процесс работы базы данных по подготовке инструмента для библиотеки NX состоит из следующих шагов:

1. В инструментальной базе указывается путь в библиотеку инструментов.
2. Выбор режущего инструмента в системе Cogo guide и добавление его в базу.

Предположим, что необходимо обработка фрезерованием плоской торцевой поверхности и фрезерование уступа корпусной детали. Для этого в системе CogoGuide необходимо подобрать режущие инструменты и внести их в базу.

Выбранные инструменты:

- а) для обработки плоской торцевой поверхности - CogoMill 345(код продукта - 345-050Q22-13H)
  - б) для обработки уступа - CogoMillPlura (код производителя - 2F342-1270-038-PC 1730)
3. Подбор инструментальной оснастки, на основе выбранного инструмента и типа крепления станка.
  4. Добавление инструмента в систему NX.
  5. Добавление режимов резания в систему NX.
  6. Симуляция операций со станком в системе NX.

Для реализации представленной методики необходимо создать новый файл из шаблона NX «Обработка», ассоциативно связанный с исходным файлом детали. Для изготовления этой детали ранее были подобраны инструменты. В этом файле будет производиться программирование обработки детали и симуляция ее на станке JMD3CNC.

Для того, чтобы в модуле обработки детали реализовались добавленные режимы резанья необходимо выбрать материал заготовки, инструмента и вид операции. Системе NX необходимо жестко привязаться к конкретным параметрам. В частности при расчете режимов резания система ищет в библиотеке по ключевым меткам, такие данные как материал детали и инструмента, вид операции. Но в нашем случае данные параметры были учтены в системе CogoGuide при выборе инструмента, именно поэтому нет необходимости указывать какой-либо конкретный материал или вид обработки. Для упрощенного поиска по библиотеке NX данным переменным были присвоены соответствующие метки.

Для выбора материала заготовки необходимо перейти в раздел геометрии WORKPIECE и выбрать материал Sand\_Kor\_Mat. Материал инструмента задается в разделе «вид инструментов» или в самой обработке. Материал инструмента обозначен кодом фрезы. В операции необходимо изменить метод обработки на Sand\_Kor\_Obr.

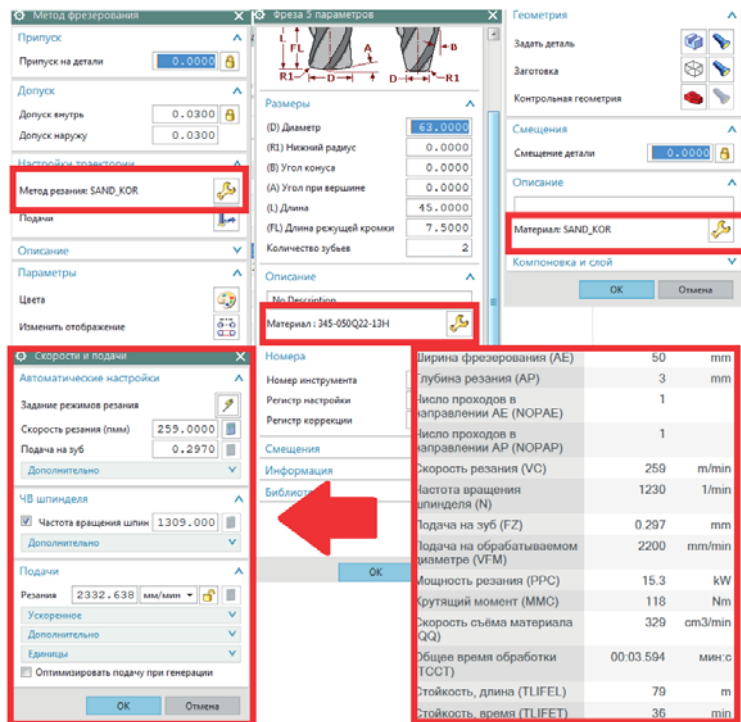


Рис.1.- Задание режимов резания.

После чего можно перейти в операции в раздел «Скорости и подачи», где необходимо нажать на кнопку «Задание режимов резания». Система автоматически найдет данные по обработке, ранее добавленные из базы.

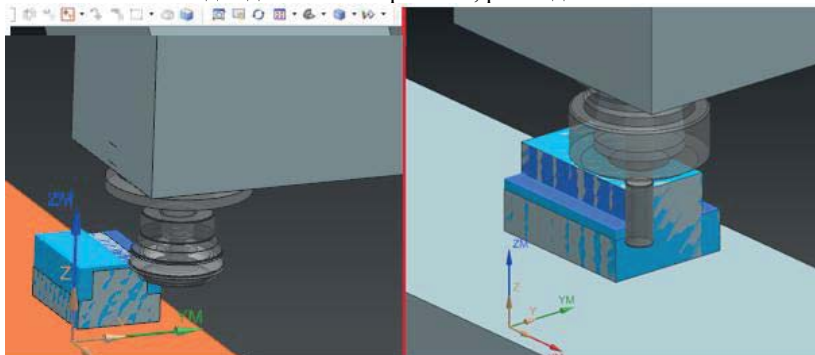


Рис.2. Симуляция обработки с использованием фрез: торцевая (слева), концевая (справа).



Преимуществом использования инструментальной базы является: обработка конкретной поверхности по рекомендациям производителя инструментов Sandvik Coromant, что способствует эффективному повышению использования оборудования и оснастки. Имеется возможность построить «инструментальную сборку», учитывая особенности крепления станка с добавлением при необходимости переходников.

### Список литературы.

1. Интернет ресурс: Изменение библиотеки данных обработки в NX CAM/ URL:

[https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/10/nx\\_help/#uid:index\\_mfggeneral:xid384701:com\\_opts\\_edit\\_mach\\_data\\_lib:com\\_opts\\_mach\\_data\\_lib-edit](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/10/nx_help/#uid:index_mfggeneral:xid384701:com_opts_edit_mach_data_lib:com_opts_mach_data_lib-edit) (дата обращения: 03.09.2016)

2. Интернет ресурс: Библиотека инструментов/ URL: <http://fsapr2000.ru/topic/57847-biblioteka-instrumentov/>

## ИОНООБМЕННАЯ МЕМБРАНА С ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ИЗ ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ ДООЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Фазуллин Динар Дильшатович  
Маврин Геннадий Витальевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
423810, Россия, г. Набережные Челны, проспект Мира, 68/19

*Аннотация:* Для доочистки гальванических сточных вод от ионов тяжелых металлов, получена ионообменная мембрана из ацетат-целлюлозной микрофилтрационной мембраны, путем нанесения на поверхность слоя полианилина, обладающего ионообменными свойствами. У модифицированных мембраны наблюдается незначительное снижение удельной производительности мембраны с 16,3 до 15,1 см<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>·мин. Степень удаления ионов тяжелых металлов из очищенных гальванических сточных вод составил 77,3 %. После очистки концентрация ионов тяжелых металлов не превышает установленные нормативы для сброса очищенной воды в систему канализации.

*Annotation:* For post-treatment of galvanic waste water from heavy metal ions, the ion exchange membrane prepared from cellulose acetate microfiltration membrane by applying to the surface polianiline layer having ion-exchange properties. In the modified membrane has been a slight decrease in the specific performance of the membrane from 16.3 to 15.1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>·min. The degree of removal of heavy metals from electroplating the treated wastewater was 77.3 %. After

purification, the concentration of heavy metal ions does not exceed the established standards for the discharge of treated water into the sewage system.

*Ключевые слова:* гальванические сточные воды, мембрана, ацетат целлюлозы, полианилин

*Keywords:* electroplating waste water, a membrane of cellulose acetate, polyaniline

Сточные воды, образующиеся в гальванических цехах машиностроительных предприятий, подвергаются традиционным методом очистки, таких как коагуляция, нейтрализация, отстаивание после которых концентрация ионов тяжелых металлов в очищенной воде превышает установленные нормативы сброса. Высокоэффективным методом, позволяющим доочистить данные стоки, является процесс мембранного разделения и ионного обмена.

Цель данной работы состоит в улучшении качества очистки сточных вод путем применения ионообменных мембран.

На заводе двигателей ПАО «КАМАЗ» производится электрохимические (цинкование, хромирование) и химические (фосфатирование) способы гальванического покрытия.

При электрохимическом и химическом методах нанесения осаждение производится из растворов. Все процессы осуществляются на автоматизированных или механизированных линиях, в большинстве работающих по замкнутому циклу.

Для предварительной очистки и нейтрализации использованные растворы и промывные воды по системе трубопроводов передаются на специализированную станцию нейтрализации. После очистки стоки поступают в систему промышленной канализации.

Перед сбросом в систему промышленной канализации были отобраны очищенные гальванические СВ. Состав и свойства, которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства и состав очищенных гальванических стоков отобранных в станции нейтрализации

Показатель	Норматив*	Очищенная СВ
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	300	117±23,4
УЭП, мкСм/см	-	910±91
Железо, мкг/дм <sup>3</sup>	3000	85,19±17,03
Медь, мкг/дм <sup>3</sup>	500	14,057±2,81
Цинк, мкг/дм <sup>3</sup>	1000	204,9±40,98
Хром, мкг/дм <sup>3</sup>	50	2,09±0,418
Никель, мкг/дм <sup>3</sup>	250	562,0±112,4

\* допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованную систему водоотведения по постановлению Правительства РФ от 29 июля 2013 г. №644.

По данным таблицы 1 концентрация ионов никеля в очищенной сточной воде превышает норматив 2,5 раза.

Вследствие того, что концентрация в очищенных гальванических стоках превышает установленные нормативы, требуется дополнительная очистка, для удаления низких концентраций ионов тяжелых металлов (ИТМ). Лучшим по эффективности, по нашему мнению, являются мембранные методы, особенно наиболее эффективны ионообменные мембраны, которые обладают высокой удельной производительностью в сравнении с обратным осмосом при одинаковой степени очистки.

Известные ионообменные мембраны обладают рядом недостатков, таких как, высокая проводимость, короткий срок эксплуатации, необходимость сложной предварительной подготовки и пр. В связи с этим возникает необходимость разработки новых композиционных материалов, которые могли бы соответствовать всем предъявляемым требованиям и обеспечивать высокую очистку растворов от содержащихся в них ИТМ.

В данной работе получены ионоselectивные мембраны марки «АМА–ПАНИ», рабочим слоем в которых является полианилин (ПАНИ). Получили ионообменную мембрану из микрофильтрационной мембрана марки МФА-МА-№9, который представляет собой полупроницаемый пленочный материал на основе ацетатов целлюлозы, с общей пористостью 78-85% , с размером пор 0,2 мкм, диаметром 3,5 см и площадью 9,61 см<sup>2</sup>.

Чтобы получить модифицированную мембрану, подложку из ацетата целлюлозы выдерживали в растворе гидрохлорида анилина концентрацией 1 моль/дм<sup>3</sup> в течение 2 часов, после чего выдерживали в течение 10 минут в растворе персульфата аммония так же концентрацией 1 моль/дм<sup>3</sup>. [1-4].

Эффективность и эксплуатационные качества мембраны определяются ее степенью очистки и удельной производительностью.

Удельная производительность мембран определялась пропусканием через мембрану определенного 500 см<sup>3</sup> воды.

Удельная производительность мембран приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Удельная производительность мембран.

Наименование мембраны	Удельная производительность мембран, см <sup>3</sup> /см <sup>2</sup> ·мин		
	По дист. воде	После пропускания 0,5 дм <sup>3</sup> р-ра FeCl <sub>3</sub>	После промывки
МФА-МА -№9	16,3	3,5	8,7
АМА-ПАНИ	15,1	2,4	5,4

Из таблицы 2 следует что, после модифицирования исходной мембраны полианилином происходит незначительное снижение удельной производительности мембраны. После пропускания 0,55 дм<sup>3</sup> раствора FeCl<sub>3</sub> с концентрацией 10 мг/дм<sup>3</sup>, удельная производительность снизилась в 6,3 раза. Данное обстоятельство связано с забиванием пор на поверхности мембран,

образованием гелевого слоя. Для восстановления производительности мембран провели мойку мембраны раствором ПАВ - додецилсульфатом натрия.

Очищенные гальванические стоки очистили с помощью модифицированной полианилином ионообменной мембраны «АМА-ПАНИ». Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Степень доочистки гальванических СВ модифицированной мембраной «АМА-ПАНИ»

Показатель	Норматив*	Концентрация, мкг/дм <sup>3</sup>		Степень очистки, %
		До очистки	После очистки	
Взвеш. в-а, мг/дм <sup>3</sup>	300	117	<0,5	99,0
Fe <sup>3+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	3000	85,2	15,6	81,6
Cu <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	500	14,1	2,8	80,0
Zn <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	1000	205	55,1	73,1
Cr <sup>3+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	50	20,9	0,43	79,4
Ni <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	250	562	183	67,4

\* допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованную систему водоотведения по постановлению Правительства РФ от 29 июля 2013 г. №644.

Из таблицы 3 видно, что после очистки модифицированной мембраны АМА-ПАНИ концентрация ИТМ значительно уменьшается. Наиболее высокая степень очистки от ионов металла наблюдается у Fe<sup>3+</sup>. Средняя степень очистки по ИТМ составила 77,3%. После очистки СВ модифицированной ионообменной мембраной «АМА-ПАНИ» концентрация ИТМ не превышают установленный норматив.

Ранее нами в работе [5], были проведены исследования очистке ИТМ из модельных растворов. Наиболее высокая степень очистки наблюдался также от Fe<sup>3+</sup>, который составил 89%, при исходном содержании ионов железа (III) 1240 мкг/дм<sup>3</sup>.

По результатам данных исследования, можно сделать вывод, что полученные ионообменных мембран марки «АМА-ПАНИ» обладают высокой степенью очистки в зависимости от иона ТМ и его содержания в растворе, также высокой удельной производительностью в сравнении с другими мембранами применяемыми для очистки СВ от ИТМ [6]. После доочистки гальванических стоков, полученными ионообменными мембранами, концентрация ионов ТМ не превышает установленные нормативы для сброса очищенной воды в систему канализации.

### Литература:

1. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Модификация гидрохлоридом анилина рулонных обратноосмотических мембран «ЭМО-Н 45-

300» и их свойства // Вестник технологического университета. – 2015. – №19. – 270-272.

2. Fazullin D.D., Mavrin G.V. Effect of temperaturje and pH value of the liquid shared selectivity cation exchange membrane, nylon-PANI // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – № 6. – P. 66-71.

3. Фазуллин Д. Д., Маврин Г. В., Шайхиев И. Г. Свойства катионообменных мембран нейлон-ПАНИ. // Вестник технологического университета. – 2015. – № 12 – С. 194-197.

4. Mavrin G.V., Fazullin D.D., Melkonyan R.G. Modified cationic membranes for water purification, and their selective permeability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – Volume 69. – Issue 1. – P. 1-4.

5. Фазуллин Д.Д., Харитоновна Е.А., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Характеристики ионообменных мембран модифицированных полианилином // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 3. – С. 107-110.

6. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г., Мачтакова А.И. Доочистка гальванических сточных вод ионообменной мембраной из ацетата целлюлозы с поверхностным слоем из полианилина. – 2016. – № 14. – С. 172-175.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ**

Федяев В.Л.

Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН

420111, РФ, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31

Галимов Э.Р., Гимранов И.Р., Марат М.М.

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н.Туполева (КНИТУ-КАИ)

420111, Р.Ф., г.Казань, ул.К.Маркса, 10

Рассмотрены начальные стадии формирования полимерных порошковых покрытий. При осаждении частиц на обрабатываемую поверхность тела получены соотношения для оценки скорости сближения частицы и препятствия при ударе, а также других характеристик. С использованием фиктивной пузырьковой и идеальной модели пористой среды найдены зависимости, описывающие динамику слипания осевших размягченных частиц порошка, определено время их полного слипания.

Considered the initial stage of the formation of a polymeric powder coatings. During the deposition of particles onto the surface of the body obtained equations for estimating the speed of convergence of the particle and the obstacle at impact, as well as other characteristics. Using fictitious bubble and the ideal model of the porous medium we find dependencies that describe the dynamics of clumping settled the softened powder particles, determined at the time of their full adhesion.

Ключевые слова: напыление порошковых материалов, слипание частиц.

В общем случае по ходу формирования полимерного покрытия выделяются начальная стадия осаждения частиц на поверхности тела, затем слипания их, слияния, растекания по поверхности; возможно, спекания, сплавления; а также отверждения и полимеризации [1, 2]. Каждая из этих стадий может быть предметом отдельного исследования. В настоящей работе рассмотрим, не вдаваясь в подробности, первые из названных стадий, определяющих, во многом, качество полимерных покрытий.

**1.Осаждение полимерных частиц.** Среди большого числа технологий, способов и методов нанесения полимерных порошковых покрытий остановимся на струйном напылении [2-5]. Для этого способа характерно то, что частицы порошка, двигаясь в струе воздуха, топочных газов, возможно, в их смеси, под действием сил инерции, при воздействии окружающей среды, полей массовых сил, падают на обрабатываемое тело, ударяя по нему[6-11].

С целью упрощения моделирования напыляемых полимерных частиц, предположим, что в единичном объеме  $V$ , прилегающем к единичной площадке  $S_m$  обрабатываемого тела, частицы одинакового среднего диаметра  $d$  летят с одинаковой скоростью  $\vec{v}_d$ . При этом за время  $\tau$  общее количество ударов всех частиц по поверхности  $S_m$  будет:

$$N_m = \tau \sum_d (N_d v_{dn}) / \ell,$$

где  $v_{dn}$  – проекция вектора  $\vec{v}_d$  на нормаль к поверхности тела,  $N_d$  – число частиц диаметром  $d$ , находящихся в рассматриваемом единичном объеме  $V$ ,  $V_d$  – общий объем частиц с диаметром  $d$ , количество  $V_d$  равно концентрации частиц с размером  $d$ ;  $\ell$  – единичная длина.

При малой скорости удара одиночной частицы в квазистационарном режиме [9] в соответствии со вторым законом Ньютона

$$\int_0^s P(s) ds = (4\pi\rho_p r_p^3 / 3) \int_{v_p}^{v_p} v dv, \quad (1)$$

где  $r_p, \rho_p, v_p$  – радиус, плотность материала, скорость удара частицы, соответственно;  $P = P(s)$  – сила удара;  $s, v$  – текущее сближение, скорость соударяющихся частиц и препятствия.

Предполагая, что  $P(s) \sim 2P_* (s/s_0)(1 - s/2s_0)$  из (1) найдем:

$$v = v(s) = (v_p^2 - (3s^2 P_* / 4\pi s_0 \rho_p r_p^3)(1 - S/3s_0))^{1/2}, \quad (2)$$

Здесь, согласно условию  $v(s_0) = 0$ , максимальное сближение частицы и преграды

$$s_0 = 2\pi\rho_p r_p^3 v_p^2 / P_*. \quad (3)$$

Максимальная сила при ударе  $P_*$  определяется по формуле [10]:

$$P_* = \delta_{pm}^{2/5} (5m_p v_p^2 / 4)^{3/5},$$

где  $m_p$  –

масса частицы,  $\delta_{pm} = 4(r_p)^{1/2} / (3\pi(\kappa_p + \kappa_m))$ ,  $\kappa_p = (1 - v_p^2) / \pi E_p$ ,  $\kappa_m =$

$(1 - \nu_m^2)/\pi E_m$ ;  $E_p, E_m$ ;  $\nu_p, \nu_m$  – соответственно, модуль Юнга, коэффициент Пуассона материала частицы и препятствия.

При необходимости, располагая зависимостью (2), из уравнения

$$\int_0^s ds/v(s) = \tau$$

можно найти закон сближения частицы и преграды при ударе  $s = s(\tau)$ , а также оценить, зная  $s_0$  (3), время удара  $\tau_0$ , другие параметры, характеризующие удар.

**2. Слипание частиц.** Непосредственно при осаждении частиц порошка, в последующем, до их расплавления (разжижения), частицы слипаются, с течением времени пористость насыпного слоя уменьшается. С целью формализации данного процесса пористый слой напыленного порошка представляется в виде фиктивной среды, в которой поры сферической формы одинакового размера равномерно распределены по объему. Назовем эту среду пористой пузырьковой средой [12]. При ромбоэдрической укладке частиц, по форме близких к сфере, эквивалентный диаметр этих пор

$$d_{\Pi} = d_p (6 \sin^2 \theta \sqrt{1 + \cos \theta} / (\pi(1 + \cos \theta) - 1))^{1/3}, \quad (4)$$

где  $d_p$  - диаметр частиц,  $\theta$  - угол, характеризующий укладку частиц ( $\pi/3 \leq \theta \leq \pi/2$ ). При этом, приблизительно, начальная пористость среды

$$m_0 \sim 0.5 - 0.33 \cos \theta. \quad (5)$$

Согласно [1] при слипании частиц эквивалентный радиус сферических пор  $a = a(\tau)$  удовлетворяет уравнению:

$$da/d\tau = -3\alpha\sigma/(4\eta). \quad (6)$$

Здесь  $\alpha$  - поправочный коэффициент, обусловленный, в основном, отличием формы пор реального материала от сферической в модели фиктивной среды, влиянием давления газа на процесс слипания,  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения на границе пузырька,  $\eta$  - вязкость полимерного материала.

Интегрируя данное уравнение, найдем

$$a = a(\tau) = a_0 - K_0\tau, \quad (7)$$

где  $a_0$  - начальный эквивалентный радиус пор ( $a_0 = 0.5d_{\Pi}$ ),  $K_0 = 3\alpha\sigma_0/(4\eta_0)$ ;

$\sigma_0, \eta_0$  - средние значения коэффициента поверхностного натяжения и вязкости.

Отсюда при первоначально ромбоэдрической укладке сферических частиц насыпного слоя порошка время полного слипания их (схлопывания пор) будет:

$$\tau_{СП} \approx 1.33 (1 - 0.22 \cos \theta) \eta_0 r_p / (\alpha \sigma_0). \quad (8)$$

Оценку динамики слипания частиц полимерного порошка можно получить также с использованием идеальной модели пористой среды, в которой поры представляют собой протяженные каналы [13]. В начальный момент времени радиус поперечных сечений этих каналов определяется соотношением:

$$r_{\Pi 0} = 2m_0 r_p / (3(1 - m_0)).$$

Предполагая, что в круговом поперечном сечении поровых каналов радиус их  $r_{II}$  при слиянии с течением времени изменяется в соответствии с законом, аналогичным (6), найдем:

$$r_{II} = r_{II}(\tau) = r_{II0} - K_0 r. \quad (9)$$

Приблизительно, с учетом (5), время схлопывания пор

$$\tau_{СП} \approx 0.89(1 - 0.66 \cos \theta)^2 \eta_0 r_p / (\alpha \sigma_0). \quad (10)$$

Сравнивая соотношения (8) и (10) убеждаемся, что в случае модели идеальной пористой среды время схлопывания пор меньше, чем при использовании модели пузырьковой среды.

**3. Слияние и растекание материала частиц по поверхности тела.** При анализе слияния жидких частиц полимерного порошка необходимо, по нашему мнению, различать слияние частиц, находящихся в слое, примыкающем к твердой поверхности обрабатываемого тела и вне этого слоя. Поскольку с практической точки зрения наибольший интерес представляет поведение частиц вблизи поверхности тела, рассмотрим слияние частиц приповерхностного слоя, растекание их по ходу данного процесса.

В случае смачиваемой поверхности твердого тела форма ячейки периодичности в один из моментов времени показывается на рис. 1. Здесь  $Ox$  – ось координат, направленная по касательной к телу,  $AB$  – верхняя граница ячейки,  $A'B'$  – ее среднее положение,  $h_k = h_k(\tau)$  – высота ячейки,  $PQ$  – граница раздела полимерного материала и газовой среды полости,  $BQ$  – условная граница между рассматриваемой ячейкой и симметричной ей ячейкой соседней частицы,  $\theta$  – краевой угол смачивания.

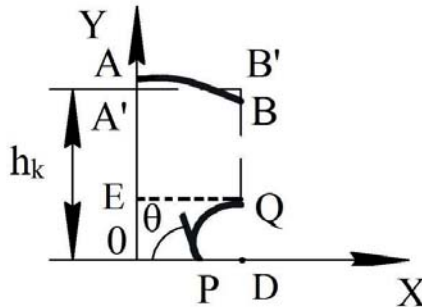


Рис. 1. Ячейка периодичности

Планируя далее для решения задачи о слиянии частиц воспользоваться положениями капиллярной гидродинамики [13-18], трансформацию ячейки периодичности (рис. 1) с течением времени представим как осадку прямоугольника  $A'B'QE$  низкой площади  $S_{A'B'QE}$  вследствие растекания жидкости, находящихся в  $OPQE$ , сопровождаемого смещением точек  $P, Q$ , уменьшением площади полости  $PDQ$ , вплоть до ее схлопывания. При этом будем считать, что вблизи границы  $PQ$  под действием разницы давлений, сил



поверхностного натяжения жидкость движется вдоль  $OD$  в горизонтальном направлении, это движение квазистационарно и квазипараллельно оси  $Ox$ .

Известно [19], что при плоскопараллельном течении вязкой жидкости в канале, одна из стенок которого движется со скоростью  $v_0$ , при постоянном продольном градиенте давления  $\partial p/\partial x = p_x < 0$  скорость жидкости

$$v = v(y) = v_0 y/h_c + p_x/2\eta (y^2 - y h_c), \quad (11)$$

где  $h_c$  – удаленность условной границы раздела областей  $EQ$  от оси  $Ox$  (рис.1).

Если  $p_x \approx -\Delta p/\tilde{x}_p$ , где  $\Delta p$  – разность давлений на длине  $\tilde{x}_p$  ( $\Delta p > 0$ ), то средняя скорость течения жидкости

$$\bar{v} = 0.5v_0 + \Delta p h_c^3 / (12\eta S). \quad (12)$$

Здесь  $S$  – площадь  $OPQE$ , равная  $\tilde{x}_p h_c$ . При условии, что жидкая среда несжимаема, протекание ее сквозь условную границу  $EQ$  мало,  $S \approx const$ .

В соотношениях (11), (12), характеризующих течение жидкости вдоль твердой поверхности, остаются пока неопределенными величинами  $h_c$  и  $v_0$ . При отыскании их, во-первых, принимая во внимание условие  $S = const$ , учтем, что

$$\bar{v} = \frac{d\tilde{x}_p}{d\tau} = -S(dh_c/d\tau) / h_c^2 = 0.5v_0 + \Delta p h_c^3 / (12\eta S). \quad (13)$$

Во-вторых, оценим с использованием (11) касательное напряжение (удельную силу трения) на условной границе  $EQ$ :

$$\tau_{xy} = \eta \left. \frac{dv(y)}{dy} \right|_{y=h_c} = \eta v_0 / h_c + 0.5 h_c p_x. \quad (14)$$

Предполагая, что  $\tau_{xy} \sim 0$ , заменяя  $p_x$  на  $-\Delta p/\tilde{x}_p$ , найдем:

$$v_0 \approx \Delta p h_c^3 / (2\eta S). \quad (15)$$

Подставив найденное значение  $v_0$  в (13), относительно  $h_c$  получим дифференциальное уравнение:

$$dh_c/h_c^5 = -7\Delta p / (12\eta S^2). \quad (16)$$

Интегрируя его при условии, что в начальный момент времени  $\tau = 0$  высота  $h_c = h_{co}$  известна, перепад давления  $\Delta p = \Delta p_0 = const$ , определим

$$h_c = 1 / ((1/h_{co}^4) + (\tau \Delta p_0 / 3\eta S^2))^{1/4}. \quad (17)$$

Отсюда время полной осадки слоя, когда в ячейке периодичности газовая полость исчезнет, будет

$$\tau = \tau_k = \left( (r_p h_{co})^4 - S^4 \right) (3\eta / (h_{co}^4 S^2 \Delta p_0)). \quad (18)$$

Представленные решения при заданных параметрах  $\sigma, \eta$ ; исходных значениях  $\tilde{x}_p = \tilde{x}_{p0}$ ,  $h_c = h_{co}$ , постоянной разнице давлений  $\Delta p = \Delta p_0$  позволяют найти площадь  $S$ , оценить перемещение границ  $PQ$ ,  $EQ$ , время полной осадки слоя частиц, растекания полимерного материала по поверхности обрабатываемого тела.

Обратимся вновь к уравнению (16). При капиллярном движении жидкости в канале в отсутствие массовых сил средняя разность давлений оценивается зависимостью [13-15]

$$\Delta p = p_\sigma - p_g + p_p. \quad (19)$$

Здесь  $p_g, p_p$  – давление в полости и материале частицы,  $p_\sigma = \sigma/R$  – капиллярное давление,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела жидкость– газ,  $R = r/\cos \theta$  – радиус кривизны этой границы,  $r = 0.5d$  – половина ширины канала.

Давление  $p_g$  представляет собой сумму двух удельных сил  $\sigma \cos \theta/d$ , действующих в направлении оси канала и приложенных к концам мениска. Исходя из этого предположим, что при слиянии частиц (см. рис. 1) на  $PQ$  действуют сила  $\sigma \cos \theta/h_c$ , приложенная в точке  $P$  и сила  $\sigma/h_c$  – в точке  $Q$ . Суммарная удельная сила натяжения, направленная в сторону оси  $Ox$ ,

$$p_\sigma = (1 + \cos \theta)\sigma/h_c = (1 + \zeta)\sigma/h_c. \quad (20)$$

Следовательно, средняя разница давлений, вызывающая смещение поверхности раздела  $PQ$ ,

$$\Delta p = \Delta p(\zeta) = (1 + \zeta)\sigma/h_c - \Delta p_g (\Delta p > 0), \quad (21)$$

где  $\Delta p_g = p_g - p_p$ .

При этом движение границы  $PQ$  будет направленно в сторону оси  $Ox$ , когда

$$(1 + \zeta)\sigma/h_c > \Delta p_g. \quad (22)$$

Если на границе  $PQ$  средний перепад давления  $\overline{\Delta p_g} = p_g - \overline{p_p} = \overline{\Delta p_{g0}} = const$ , то средний радиус кривизны границы  $PQ$  в соответствии с уравнением Лапласа

$$\bar{R} = \sigma/\overline{\Delta p_{g0}} = R_0 = const. \quad (23)$$

В этом случае смещение поверхности раздела качественно иллюстрирует рис.2.

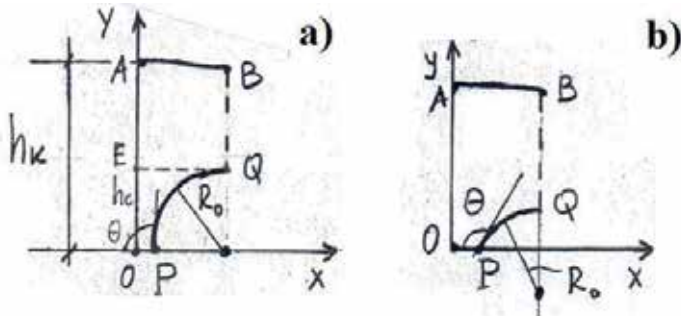


Рис.2 Динамика изменения формы ячейки периодичности при постоянном эквивалентном радиусе кривизны

Для данной ситуации характерно, что если в начальный момент времени  $\theta \sim \pi/2$  ( $\zeta \sim 0$ ), то по мере уменьшения размеров полости краевой угол смачивания увеличивается (рис. 2 а,в), стремясь к  $\pi$  ( $\zeta = -1$ ). Напомним, что

значения  $\theta > \pi/2$  типичны для несмачиваемых (лиофобных) поверхностей твердого тела.

Поскольку  $\zeta = \cos \theta < 0$ , сила натяжения  $\sigma \cos \theta / h_c$  в точке  $P$  направлена противоположно движению поверхности раздела, однако в точке  $Q$  по-прежнему действует в направлении оси  $Ox$ .

В рассматриваемом случае, когда радиус полости  $R_0$  постоянный, из ее геометрии (рис. 2) следует, что

$$h_c = (1 + \zeta)R_0. \quad (24)$$

Таким образом, в отличие от (17), при заданной величине  $h_{co}$  радиус  $R_0 \approx h_{co}$  ( $\zeta \approx 0$ ), высота полости  $h_c$  зависит от  $\zeta = \zeta(\tau)$ , разницы давлений

$$\Delta p = \sigma/R_0 - \Delta p_g. \quad (25)$$

Отсюда граница  $PQ$  будет перемещаться в направлении оси  $Ox$ , если  $\Delta p_g < \sigma/R_0$ ,

а согласно (17), (24) функция

$$\zeta = \zeta(\tau) = 1/(R_0(1/h_{co}^4 + \tau \Delta p_0/3\eta S^2)^{1/4}) - 1.$$

В силу того, что в разнице давлений  $\Delta p$  выделено капиллярное давление  $\sigma/R_0$ , для определения ее достаточно задать перепад давления  $\Delta p_g$ , который, вместе с тем, можно интерпретировать как управляющий параметр.

В заключение отметим, что, несмотря на изотермическую постановку рассмотренных задач, полученные решения можно использовать для расчета соответствующих характеристик с учетом изменения определяющих параметров в зависимости от температуры. Не представляет также особого труда учет в последней задаче изменения разницы давлений  $\Delta p$  с течением времени.

### Список литературы

1. Яковлев А.Д. Порошковые краски. Л.: Химия, 1987. – 216с.
2. Галимов Э.Р., Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимова Н.Я., Курынцев С.В., Мухин А.М. Полимерные порошковые покрытия специального назначения. Казань: Изд-во «Офсет Сервис», 2012. – 164с.
3. Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Сраев А.Р., Мартинес Маркес Л. Математическое моделирование процессов, протекающих при струйном напылении полимерных порошковых покрытий//  
Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 25-летию ИММ КазНЦ РАН. Сб. науч. трудов. – Казань: Изд-во «ФЭН» АН РТ, 2016. – 452с.
4. Гоц В.Л., Ратников В.Н., Гисин П.Г. Методы окраски промышленных изделий. М.: Химия, 1975. – 264с.
5. Волков С.С., Гирш В.И. Склеивание и напыление пластмасс. М.: Химия, 1988. – 112с.
6. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Наука, 1966. – 450с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1965. – 204с.

8. Тмошенко С.П., Гудьир Дж. Н. Теория упругости. М.: Наука, 1975. – 576с.
9. Эрозия/ Под ред. К. Прис. – М.: Мир, 1982. – 464с.
10. Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф., Грещук Л.Б., Курран Д.Р. Динамика удара. М.: Мир, 1985. – 296с.
11. Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.А. Инженерные методы исследования ударных процессов. М.: Машиностроение, 1977. – 240с.
12. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 1987. – 464с.
13. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 539с.
14. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973. – 758с.
15. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: Химия, 1977. – 592с.
16. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. – 568с.
17. Бертенев Г.М., Зеленов Ю.В. Курс физики полимеров. Под ред. Проф. С.Я. Френкеля. Л.: Химия, 1976. – 288с.
18. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. Под ред. А.Г. Стромберга. М.: Высш. шк., 1973. – 480с.
19. Кочин Н.Е., Кибель Н.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. II. М.: Физматгиз, 1963. – 728с.

## **ВЛИЯНИЕ «ХОЛОДНОЙ» ПЛАЗМЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПА ВОЛОКОН**

Хабибова Регина Рафаиловна – НЧИ КФУ regina\_16-94@mail.ru  
Егорова Виктория Евгеньевна – НЧИ КФУ Nika29.94@yandex.ru  
Файзуллина Равия Фахразыевна – НЧИ КФУ violet\_stone@mail.ru

*Аннотация: В настоящее время существует проблема повышения адгезии волокон связующего материала. Наиболее эффективным методом является обработка «холодной» плазмой. Исследовано влияние «холодной» плазмы на свойства композиционных материалов, состоящих из эпоксидной смолы и полиамидных волокон.*

*Annotation: Currently, there is the problem of increasing the adhesion of the binder fibers. The most effective method is to treat "cold" plasma. The effect of the "cold" plasma on the properties of composite materials consisting of epoxy resin and polyamide fibers.*

*Ключевые слова: волокно, низкотемпературная плазма, адгезия, полиамидные, ионизация газа.*

Существует проблема повышения адгезии волокон связующего материала при производстве из различных видов волокон: полиамидных, углеродных и стекловолокон. Данная задача решается: химическим травлением волокон, обработкой низкотемпературной плазмой и т.д. [1].

Наиболее эффективным методом на данный момент является обработка низкотемпературной плазмой. Низкотемпературная плазма в настоящее время широко используется для решения не только разнообразных научных, но и конкретных производственных задач. Наиболее привлекательные аспекты ее применения связаны с тем, что по сравнению с традиционными химико-технологическими процессами плазменные процессы не требуют использования каких-либо жидких растворов (то есть потенциально являются экологически чистыми), а также существенно менее энергоемкие [2].

Низкотемпературной называют плазму, у которой средняя энергия электронов меньше характерного потенциала ионизации атома ( $< 10$  эВ); температура её обычно не превышает  $10^5$  К. Плазма с более высокой температурой называется «горячей» или «высокотемпературной». Обычно низкотемпературная плазма слабоионизованная, т. е. число нейтральных атомов и молекул значительно превышает число заряженных частиц - электронов и ионов [3].

Одним из эффективных материалов волокон является полиамидные волокна, которые применяются для производства чулочно-носочных и трикотажных изделий, для производства швейных ниток, и галантерейных изделий (кружева, тесьмы, ленты), канатов, рыболовных сетей, конвейерных лент, корда, тканей технического назначения.

Большое распространение получили текстурированные (высокообъёмные) нити из ПА волокон. Использование профилированных волокон позволяет придавать тканям различные эффекты, а также способствует лучшей сцепляемости волокон в нитях. Широко применяется штапельное ПА волокно в смеси с другими волокнами (хлопком, шерстью, вискозным волокном). Добавление ПА волокон в смеску обычно не превышает 10-15%, что почти не ухудшает гигроскопических свойств изделий, но позволяет значительно увеличить срок их службы [4].

На основе анализа литературы выявлено, что в процессе воздействия низкотемпературной плазмы на различные виды волокон происходят процессы возбуждения и ионизации газа, рекомбинации заряженных частиц и др., процессы переноса заряженных и возбуждённых частиц, а также процессы переноса энергии за счёт теплопроводности, конвекции. Число типов элементарных процессов в низкотемпературной плазме достигает несколько десятков [3].

Провели экспериментальные исследования влияния «холодной» плазмы на свойства ПА волокон. Варьировали временем воздействия плазмы на волокна: 2, 5 и 10 минут. Изготавливали стандартные образцы композита на основе эпоксидной смолы КДА и отвердителя ЭТАЛ в соотношении 100 к 30 масс.ч. и обработанных ПА волокон. Определяли разрушающее напряжение при растяжении по ГОСТ 17370. Выявили, что увеличение времени обработки ПА

волокон приводило к ухудшению физико-механических свойств композита. При этом образцы со временем обработки в 2 мин показали лучшие результаты среди обработанных, сопоставимые с необработанными. Таким образом, выявлен эффективный диапазон воздействия «холодной» плазмы на ПА волокна.

### Список литературы

1. Интернет-ресурс: База патентов СССР. <http://patents.su/4-1758525-sposob-opredeleniya-adezii-voлокna-k-svyazuyushhemu-v-kompozicionnykh-materialakh.html> (Дата обращения 10.10.2016г.)
2. Интернет-ресурс: Русский переплет. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/959.html> (Дата обращения 15.10.2016г.)
3. Интернет-ресурс: Реальная физика. <http://bourabai.ru/physics/2505.html> (Дата обращения 16.10.2016г.)
4. Интернет-ресурс: Полиамидные волокна. [http://www.biysk.ru/~karman/mat\\_vol\\_x\\_sint\\_pa.htm](http://www.biysk.ru/~karman/mat_vol_x_sint_pa.htm) (Дата обращения 17.10.2016г.)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ДЕТАЛИ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА КАПОТА МОТООТСЕКА

Хайрутдинова Альфира Ильнуровна ПАО «КАМАЗ»  
e-mail: khai-alfira@mail.ru  
Хафизов Инзар Илдарович ПАО «КАМАЗ»  
e-mail: obamo2107@gmail.com  
к.т.н. Шафигуллин Ленар Нургалиевич НЧИ КФУ  
e-mail: misharin\_82@mail.ru

Проведены исследования звукопоглощения, теплопроводности и температурной усадки стеклопластиковых сэндвич-панелей. Выявлены высокие значения физических свойств сэндвич-панелей наполненных аэросилом. Даны рекомендации по использованию сэндвич-панелей для изготовления защитного экрана капота мотоотсека.

Investigations of sound absorption, thermal conductivity and thermal shrinkage of fiberglass sandwich panels. The high values of the physical properties of sandwich panels filled with aerosil. Recommendations on the use of sandwich panels for the production of the shield hood engine compartment.

Ключевые слова: сэндвич-панель, теплоизоляция, звукопоглощение, температурная усадка.

Современные сэндвич-панели из полимерных композиционных материалов широко используются в автомобилестроении, для изготовления грузовых рефрижераторов, панелях кузовов, кабин и корпусов. Сэндвич-панель – это многослойные, композиции материалов, которые обладают высокой прочностью, долговечностью, теплопроводностью, звукопоглощением, возможностью применения в различных конструктивных решениях [1].

Исследовались три образца сэндвич-панелей:

1) Образец №1 – стеклопластик на основе полиэфирной смолы (общая толщина прослойки 10мм) + фольгоизолон (10мм), клей-герметик + стеклопластик (4мм).

2) Образец №2 – стеклопластик на основе полиэфирной смолы (4мм) + коремат пропитанный смолой (общая толщина прослойки 10мм) + стеклопластик (4мм).

3) Образец №3 – стеклопластик на основе полиэфирной смолы (4мм) + (яркопол) аэросил (общая толщина прослойки 10мм) + стеклопластик (4мм).

Использовали сэндвич-панели для изготовления защитного экрана капота мотоотсека. К изделию предъявляются требования: высокие коэффициенты теплопроводности и звукопоглощения, малая температурная усадка.

В таблице 1 представлены минимальные значения коэффициента звукопоглощения для изделия из сэндвич-панелей.

Таблица 1 – Техническое условие к коэффициенту звукопоглощения

f, Гц	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
ТУ	0,07	0,08	0,08	0,10	0,21	0,33	0,41	0,50

Образцы сэндвич-панелей исследовались на:

1) коэффициент звукопоглощения ( $K_z$ , Дб) по ГОСТ 16297-80 [2];

2) коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ,  $\frac{Вт}{м \cdot К}$ ) по ГОСТ 7076-99 [3];

3) коэффициент температурной усадки ( $\alpha_{\text{отн}}$ ) по ГОСТ17177-94 [4];

В качестве испытательного оборудования использовали: труба для измерения импеданса по ASTM типа 4206-A [2]; прибором измеритель теплопроводности (ИТП – МГ4) [3]; сушильный шкаф и штангенциркуль.

Результаты исследований представлены в таблицах 2-4.

Таблица 2 – Коэффициент звукопоглощения сэндвич-панелей

Частота, Гц	Коэффициент звукопоглощения, Кз, Дб		
	Сэндвич-панель №1	Сэндвич-панель №2	Сэндвич-панель №3
16	0,000	0,073	0,000
20	0,007	0,039	0,000
25	0,000	0,000	0,000
31,5	0,041	0,049	0,075
40	0,015	0,007	0,029
50	0,030	0,021	0,030
63	0,019	0,019	0,021
80	0,033	0,031	0,031
100	0,029	0,025	0,027
125	0,005	0,003	0,002
160	0,030	0,029	0,030
200	0,034	0,028	0,030
250	0,039	0,029	0,032
315	0,037	0,027	0,032
400	0,056	0,031	0,042
500	0,137	0,039	0,066
630	0,133	0,048	0,143
800	0,221	0,070	0,512
1000	0,282	0,084	0,506
1250	0,158	0,282	0,139
1600	0,142	0,377	0,082

Таблица 3 – Коэффициент теплопроводности сэндвич-панелей

Сэндвич-панели	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$				
	1 образец	2 образец	3 образец	4 образец	5 образец
№ 1	0,123	0,121	0,122	0,121	0,123
№ 2	0,169	0,168	0,165	0,168	0,169
№ 3	0,237	0,239	0,235	0,236	0,238

Проводились эксперименты на приборе сушильный шкаф SNOL на изменение температурной усадки. Образцы помещались в сушильный шкаф температурой 60°C и снимались контрольные показатели каждый час в течении 4 часов. Толщину образца измеряют штангенциркулем по средним значениям толщины. Толщиной образца  $b$  считают среднее арифметическое четырех измерений, округленное до 0,1 мм [4]. Результаты представлены в таблице 5. Коэффициент температурной усадки вычислялся по формуле:



$$\alpha = \left| \frac{b_{исх} - b_{60^{\circ}\text{C}}}{b_{исх}} \right| \cdot 100\%,$$

где  $b_{исх}$  - показания толщины до нагревания образца, мм;

$b_{60^{\circ}\text{C}}$  - показания толщины после нагревания образца, мм;

$\alpha_{отн}$  - относительное изменение толщины образцов после выдержки при температуре  $60^{\circ}\text{C}$ , %.

Результат испытания округляют до 0,1%.

Таблица 5 – Изменение линейной температурной усадки образцов сэндвич-панелей от выдержки при температуре  $60^{\circ}\text{C}$

Время, t, ч	Исходные значения толщины, $b_{исх}$ , мм	Абсолютное изменение толщины, $b$ $60^{\circ}\text{C}$ , мм				Относительное изменение толщины образцов после выдержки при температуре $60^{\circ}\text{C}$ , $\alpha_{отн}$ , %			
		1час	2часа	3часа	4часа	1час	2часа	3часа	4часа
№ 1	19,7	19,8	20,0	20,1	20,5	0,5	1,5	2,0	4,0
№ 2	19,4	19,7	19,7	19,7	19,8	1,5	1,5	1,5	2,0
№ 3	19,5	19,5	19,5	19,5	19,6	0	0	0	0,5

В результате проведенных экспериментов свойств образцов изделий защитный экран капот мотоотсека выявлено, что сэндвич-панель № 3, обладает высокими показателями теплопроводности  $\lambda=0,238 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  и звукопоглощения в частотном диапазоне от 500 до 1000 Гц, и имеет малую температурную усадку  $\alpha_{отн}=0,5\%$ .

### Список литературы

1. Купчин В.И. Характеристики современных теплоизоляционных материалов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.stroy.net/?p=4039] – дата обращения 03.09.2016.

2. ГОСТ 16297-80. МАТЕРИАЛЫ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ. Методы испытаний – Взамен ГОСТ 16297-70; Введ. с 01.01.1981. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.

3. ГОСТ 7076-99. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. ВЗАМЕН ГОСТ 7076-87. Введ. с 01.04.2000. Изд-во стандартов, 1999. – Москва: Изд-во стандартов, 1999. – 27 с.

4. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 17177-87; Введ. с 01.04.1996. Изд-во стандартов, 1994. – Москва: Изд-во стандартов, 1994. – 40 с

## НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ПОРОШКОМ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

Хафизов Алмаз Анзяпович, Шакиров Юнус Идрисович,  
Валиев Рамиль Ильдарович.

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ  
423810, РФ, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира 68/19.

### Аннотация

Плазменное напыление на сегодняшний момент представляет собой наиболее предпочтительный и уже доступный способ проведения ремонтно-восстановительных работ по сравнению с другими методами. Несмотря на то, что способ плазменного напыления развивается сравнительно длительное время, в этой области имеется ряд нерешенных вопросов, которые связаны с выбором оптимальных режимов напыления. В этой статье рассматривается электротермическая плазменная установка, с жидким электродом, позволяющая производить плазменное напыление поверхности деталей. Рассмотрен процесс и параметры оптимальных режимов плазменного напыления.

### Summary

Plasma spraying at the moment represents the most preferred and available way of carrying out repair and rehabilitation works compared to other methods. Despite the fact that the method of plasma spraying develops relatively long time, in this area there are a number of unresolved issues related to choice of optimal regimes of deposition. This article discusses the electro-thermal plasma system with a liquid electrode, which allows to produce a plasma spraying the surfaces. The process and parameters of optimum modes of plasma spraying.

**Ключевые слова:** электротермическая плазменная установка, ферромагнитный порошок, электрический разряд.

**Введение.** Развитие технологических процессов ремонта активно развивается, и появляются методы защиты новых и восстановления изношенных деталей, позволяющих эффективно решать ряд проблем - износ трущихся деталей, снижение коэффициента трения и др. Ведущие производители техники давно используют покрытия различного функционального назначения в своей продукции [1].

По запасу усталостной прочности многие детали отвечают требованиям надежности и, при условии восстановления начальных размеров, вполне работоспособны. Главной причиной выхода из строя этих изделий обычно является износ контактных поверхностей, и они легко восстанавливаются разными способами наплавки. Если исходить от стоимости новой детали и затрат на восстановление изношенной, то можно сделать выбор в пользу ремонта. Плазменное напыление на сегодняшний момент представляет собой наиболее предпочтительный и уже доступный способ проведения ремонтно-восстановительных работ по сравнению с другими методами. К достоинствам

данного метода можно отнести: короткое время ремонтных работ; сохранение геометрических форм деталей; возможность напыления широкого спектра материалов и т.д. [2-5].

Если учесть, что большинство восстанавливаемых деталей, выполнены из конструкционных сталей или чугунов, то целесообразно использовать в качестве напыляемых материалов порошковые стали [6].

Основными технологическими параметрами при нанесении покрытий, наиболее эффективно влияющими на величину и качественные показатели покрытия, являются энергия электрического разряда, зависящая в свою очередь от величины разрядного тока, величины рабочего зазора, размера частиц ферромагнитного порошка и скоростью подачи его в зазор [7]. Однако указанные параметры должны быть взаимосвязаны также со скоростью относительного перемещения струи и детали.

**Методика исследований.** На рис.1 показана структурная схема электротермической установки, предназначенная для получения электрического разряда [8].

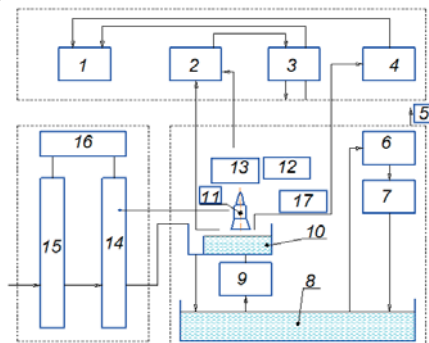


Рис. 1.- Структурная схема плазменной электротермической установки: 1-стабилизатор напряжения; 2-система контроля межэлектродного зазора (МЭЗ); 3-система контроля параметров электролита; 4-система контроля электрических параметров разряда; 5-вытяжная вентиляция; 6-насос перекачки электролита; 7-фильтр для очистки электролита; 8-емкость с электролитом; 9-насос подачи электролита в электролитическую ванну; 10-электролитическая ванна; 11- головка плазматрона (показана на рис.2); 12-координирующее устройство; 13-обрабатываемая деталь; 14-блок выпрямителя; 15-трансформатор; 16-регулятор напряжения; 17-крепление плазматрона.

Электрический разряд возникает между жидким и твердым (металлическим) электродами [9] в диапазоне межэлектродного расстояния  $l = 1 \div 100$  мм, силы тока  $I = 10 \div 100$  А, напряжения  $U_p = 40 \div 300$  В. В качестве электролитического электрода использовалась техническая вода.

Рабочий процесс при использовании в качестве металлического электрода разрядной камеры в форме усеченного полоого цилиндра, изображен на рис. 2.

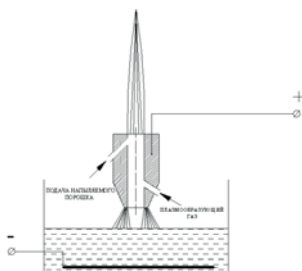


Рис.2. - Устройство для получения плазменной струи

Исследования проводились при нанесении покрытия ферропорошком [10]. При обработке скорость перемещения образцов выбрана 5 см/с. Данные механические параметры определены в результате многочисленных экспериментов и обеспечивает максимальную производительность при получении качественного покрытия на образцах и деталях простой формы. Подача ферропорошка поддерживалась в пределах 6-7 г/мин. Меньший предел не обеспечивал достаточной величины сплошности покрытия, а больший – способствовал «забиванию» порошком рабочего зазора, что снижало стабильность процесса и резко увеличивало нерациональный расход порошка.

Рабочий зазор выбран 4-5 мм при варьировании грануляции ферропорошка 20-80 мкм. При таких пределах электрический разряд происходит активно, процесс насыщения – стабилен.

Наибольшее влияние на величину и качество покрытия оказывает разрядный ток при условии поддержания оптимального режима упрочнения. Величина его варьировалась в пределах 10-40 А. При меньших токах насыщение проходило не активно, покрытие формировалось недостаточной величины и качества. При больших токах наблюдался сильный перегрев поверхности вплоть до оплавления участков, процесс напоминал электродугую наплавку. Грануляция ферропорошка в выбранных пределах на общую величину и структуру покрытия не влияет. Однако исследование сплошности и шероховатости покрытия (таб.1.) показали прямую зависимость этих характеристик от грануляции используемого порошка.

Таблица 1. Показатели сплошности и шероховатости покрытий

Грануляция ферропорошка, мкм	Процент сплошности обработанной поверхности, %	Показатели шероховатости	
		пределы высоты выступов по контуру шлифа, мкм	средняя величина слоя по впадинам, мкм
10-30	50-60	35-40	10
30-50	70-90	40-45	11
50-70	70-95	30-45	12
70-90	60-70	30-45	6

**Обсуждение результатов.** По данным таблицы можно сделать вывод, оптимальная грануляция ферропорошка находится в интервале 30-70 мкм. При меньшей грануляции в процессе обработки происходят выбросы порошка из рабочей зоны в момент разряда, частое «залипание» зазора, слой отличается большой неравномерностью по контуру упрочненной поверхности, наблюдаются несплошности. При большей грануляции происходит неполное расплавление частиц порошка, резко повышается шероховатость упрочненной поверхности, и так же наблюдаются несплошности.

Были проведены исследования влияния разрядного тока на качественные характеристики покрытия. Так, с увеличением разрядного тока величина наносимого слоя растет, но до значений, не превышающих 120 мкм. Малые токи не обеспечивают достаточной глубины слоя, хотя сплошность и шероховатость могут быть удовлетворительными. Слишком большие токи увеличивают мощность разряда, можно получить достаточно большой слой, однако может произойти оплавление участков поверхности изделий. По шероховатости поверхность весьма грубая, могут быть наплывы металла, наблюдаются сильные перегревы и т.д.

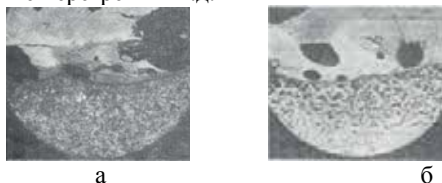


Рис. 3 Микроструктура слоев полученных в струе электрического разряда для стали 45 (а) и Ст3 (б)  $I=50-70$  А (x100)

На рис. 3 показана микроструктура слоев, полученных в струе электрического разряда между твердыми и жидкими электродами. Наиболее равномерный слой, обладающий наибольшей сплошностью, оптимальной шероховатостью, достаточной величиной, получен при разрядных токах 50-70 А. Меньшие токи не обеспечивают необходимых стабильных результатов по указанным характеристикам, а токи больше 70 А применимы для деталей, к которым практически не предъявляются требования по шероховатости и сплошности и допустимо покрытие, подобное электродуговой наплавке. В последующих исследованиях разрядный ток составляет 50-60 А, как обеспечивающий оптимальное качество покрытия.

Влияние длительности процесса напыления на качественные характеристики слоя исследовалось при одном, двух и трех последовательных проходах струи по обрабатываемой поверхности. Напыление производилось по следующему оптимальному режиму: скорость перемещения обрабатываемых образцов – 5 см/с; скорость подачи ферропорошка - 6-7 г/мин; грануляция ферропорошка - 30-50 мкм; рабочий зазор - 4-5 мм; разрядный ток - 50-60 А.

Исследованиями установлено, что полное формирование слоя осуществляется уже при первом проходе образца. Вторичный проход

обеспечивает лишь некоторое уменьшение несплошности, но одновременно несколько увеличивает шероховатость поверхности за счет «прихвачившихся» нерасплавившихся частиц ферропорошка.

### Литература

1. Матренин С.В. Наноструктурные материалы в машиностроении: учебное пособие / С.В. Матренин, Б.Б. Овечкин; Томский политехнический университет, 2010. - 186 с.
2. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. - М.: Наука, 1977. -184 с.
3. Dautov G.Y. Low Temperature plasma in the processes of functional coating preparation. G.Y. Dautov, Nail K.F., L. Viktor, G.Z. Renat, G.T. Raphael, I. Faygushin, R.N. Kashapov. Journal of Physics: Conference Series. 2013. T. 479. № 1.
4. Kashapov N.F. Hardening of the surface plasma jet high-frequency induction discharge of low pressure. N.F. Kashapov, S.N. Sharifullin. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering "International Scientific and Technical Conference "Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and Materials-2014", ISC IMETEM 2014" 2015. C. 012021
5. Khafizov A.A. Steel surface modification with plasma spraying electrothermal installation using a liquid electrode. / A.A. Khafizov, R.A. Valiev, R.I. Valiev, Yu.I. Shakirov. - Journal of Physics: Conference Series 567 (2014) 012026. LTP Coatings 2014.
6. Пантелеенко Ф.И. Восстановление деталей машин. Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов. Справочник. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
7. Хейфец М.Л. Электромеханика импульсных процессов наплавки покрытий ферромагнитными порошками. «Упрочняющие технологии и покрытия». М.Л. Хейфец, Н.Л. Грецкий, Л.М. Кожуро. Научно-техническое издательство "Машиностроение" 2008г. -№ 3. С. 51-57.
8. Шакиров Ю.И. Многоканальная плазменная установка с электролитическим катодом. Ю.И. Шакиров, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Г.Ю. Шакирова // Научно - технический журнал «Автомобильная промышленность». Москва, 2011, № 2, 36-38 с.
9. Гайсин Ф.М. Возникновение и развитие объемного разряда между твердыми и жидкими электродами. Ф.М. Гайсин, Э.Е. Сон. В сб.: Химия плазмы. Т. 16. М.: Атомиздат, 1990. С. 120.
10. Валиев Р.И. Некоторые особенности получения мелкодисперсных порошков оксида железа в низкотемпературной плазме электрического разряда с жидким катодом. Р.И. Валиев, Ал. Ф. Гайсин, Ф.М. Гайсин, А.З. Гумеров, Р.Т. Насибуллин, Р.Ш. Садриев, Л.Р. Саримов, А.А. Хафизов. // «Известия высших учебных заведений. Физика». – Томск: Изд-во Томского Госун-та, 2014. - Том 57. - № 3/3. С. 66-69.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРУБ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*Черноглазова А.В., Байгалиев Б.Е.*

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева,  
Казань, 420111, Карла Маркса 10

### **ABSTRACT**

The possibility of replacing steel pipes with thermal insulation made of polyurethane foam and a plastic protective sheath made in accordance with GOST 30732-2006 for plastic pipes.

### **АННОТАЦИЯ**

Исследуется возможность замены стальных труб с тепловой изоляцией из пенополиуретана и полиэтиленовой защитной оболочкой изготовленных по ГОСТ 30732-2006 на трубы из полимерных материалов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трубы из полимерных материалов, теплоснабжение, тепловая изоляция.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В современных жилых домах уже используют трубы горячего водоснабжения изготовленных из полимерных материалов (поливинилхлорид ПВХ, полиэтилен низкого ПНД или высокого давления ПВД, полипропилена ПП), которые имеют рабочую температуру 95°C. Для подвода теплоносителя от источников производства до потребителя в настоящее время используются трубы, изготовленные по ГОСТ 30732-2006.

Предметом наших исследований является возможность замены металлических элементов, которые присутствуют в трубах, изготовленных по ГОСТ 30732-2006, на трубы из полимерных материалов.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для обеспечения теплоснабжения объектов ЖКХ и ПГС используются трубы изготовленные согласно ГОСТ 30732-2006, который распространяется на стальные и фасонные изделия с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке.

Представленный на рис. 1 элемент трубы рассчитан (согласно ГОСТа) на параметры теплоносителя с рабочим давлением не более 1,6 МПа и температурой не более 140°C, для подземной прокладки тепловых сетей.

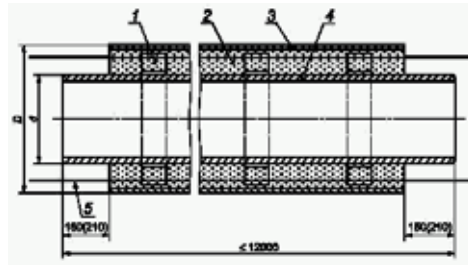


Рис. 1. Конструкция трубы по ГОСТ 30732-2006: 1 – центрирующая опора, 2 – изоляция из ППУ, 3 – труба-оболочка, 4 – стальная труба, 5 – проводники-индикаторы системы оперативного дистанционного контроля

При выборе полимеров для труб горячего теплоснабжения была использована программа «EduPack». Результаты выбора материалов представлены на рис.2. Анализ свойств полимерных материалов, позволил выбрать PES - полисульфон (ПСН-М), так как он имеет рабочую температуру  $160^{\circ}\text{C}$ , в то время как по ГОСТу требуется  $140^{\circ}\text{C}$ , и предел прочности при растяжении  $400 \text{ кг}/\text{см}^2$ .

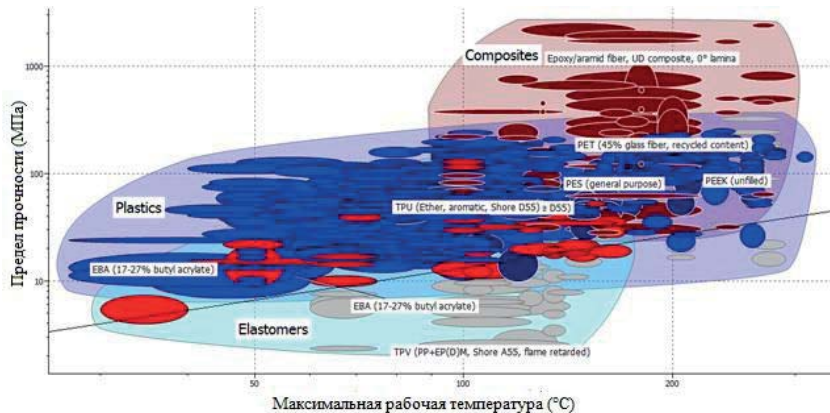


Рис. 2 – Результаты выбора материалов в зависимости предела прочности (МПа) от рабочей температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Для замены труб горячего теплоснабжения стандартной комплектации, включающих согласно ГОСТа изоляцию из ППУ (2), трубу-оболочку (3), стальную трубу (4) (рис. 1), на трубу из полимерного материала необходимо провести следующие мероприятия: сравнительные расчеты на прочность и экономическую целесообразность.



Расчет долговечности и прочности труб и фасонных изделий (1) проводим по стандартным методикам (ГОСТ 14249-69), используемых в теплоснабжении, а именно:

$$\log(t) = A + \frac{B}{T} + \log(s) \cdot \left( C + \frac{D}{T} \right), \quad (1)$$

где  $s$  – окружное напряжение, МПа;  $t$  – температура, К;  $T$  – срок жизни или эксплуатации, часов;  $A = -105,8616$ ;  $B = 57895,49$ ;  $C = -24,7997$ ;

$$D = -18506,15.$$

Расчеты по экономической целесообразности для труб и фасонных изделий проводим с учетом стоимости материалов, потребных на изготовление единицы продукции. Для этого определяем объем материалов погонного метра трубы и с учетом его стоимости, экономику.

Анализ свойств полимерных материалов позволил выбрать полисульфон так как он имеет рабочую температуру 160°C, в то время как по ГОСТу требуется 140°C, и предел прочности при растяжении 400 кг/см<sup>2</sup>.

Полисульфон модифицированный (ПСН-М) – нетоксичен и не оказывает вредного влияния на организм человека. При нормальных условиях ПСН-М стабилен, химически неактивен, устойчив к воздействию внешней среды и окислению. Материал поставляется в гранулах. Хорошо перерабатывается на термопластавтоматах и может применяться для изготовления труб теплоснабжения.

Наилучшее применение ПСН-М находит в теплотехнике, т.к. материал обладает сочетанием теплостойкости, высокими прочностными характеристиками и диэлектрическими свойствами.

Ближайшие аналоги: PES (полиэфирсульфон), PPSU (полифениленсульфон), PPS (полифениленсульфид), PSU, PSF (полисульфон), PAEK (полиарилэфиркетон), LCP (жидкокристаллический полимер), PEI (полиэфиримид), PAI (полиамидимид).

Для трубы, изготовленной из ПСН-М заменяющей все три слоя (металл, пенополиуретан, полиэтилен низкого давления) напряжения будут равны, в зависимости от диаметра размером 26 – 1396 мм предел прочности при растяжении будет равен 6,5 – 109,49 кг/см<sup>2</sup>.

Расчет показал, что с учетом коэффициента запаса прочности ( $n$ ) равным 2 предел прочности при номинальной (расчетной) толщине стенки 1,04 мм составляет 6,5 кг/см<sup>2</sup>, а при 54,76 мм составляет 109,49 кг/см<sup>2</sup>, в то время как в справочнике предел прочности полисульфона равен 400 кг/см<sup>2</sup> (табл. 1).

Следовательно, по прочностным характеристикам ПСН-М подходит и может заменить композитную трубу с металлической трубой на трубу, изготовленную полностью из ПСН-М.

Так как предел прочности полисульфона 400 кг/см<sup>2</sup>, то толщина теплоизоляции может быть уменьшена с 102 мм до 27,38 мм.

Расчет по теплопроводности и термическому сопротивлению труб и фасонных изделий при стационарном тепловом режиме [3] выполняем по формулам (2-3):

$$q_l = \pi \times \kappa_l \times (t_{f1} - t_{f2}), \quad (2)$$

$$\kappa_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{R_{\kappa_i}}{d_{i+1}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}}, \quad (3)$$

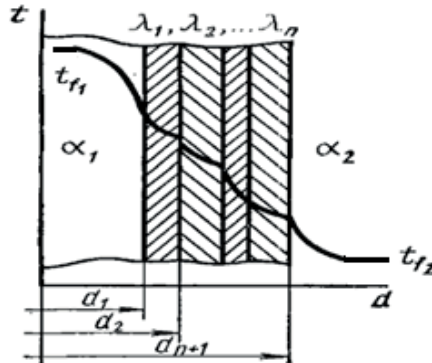


Рис. 3 – Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку при стационарном режиме

Расчет стоимости одного погонного метра трубы проводился с учетом цен, ПНД с плотностью 0,91 – 0,93 гр/см<sup>3</sup> стоимостью 64 руб/кг и ПСН-М с плотностью 1,23 стоимостью 150-380 руб/кг.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учитывая выше сказанное, поставленный вопрос о замене трубы горячего теплоснабжения стандартной комплектации, включающих согласно ГОСТа изоляцию из ППУ, трубу-оболочку, стальную трубу, на трубу из полимерного материала считаем своевременным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.Е. Байгалиев, А.В. Черноглазова, С.В. Темникова, И.Р. Тимербулатова, Д.Р. Биктимиров. Возможность применения порошковых полимерных материалов для изделий различного функционального назначения. Вестник Казанского технологического университета, 14, 7, 93-96 (2011).
2. Патент РФ 2404055 (2010).
3. Болграский А.В., Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. Высшая школа. Москва, 1975, 496с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Черноглазова А.В., Байгалиев Б.Е.*

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева,  
Казань, 420111, Карла Маркса 10

### **АННОТАЦИЯ**

Предметом наших исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для элементов конструкций аэрокосмической техники при получении изделий с малыми удельным весом при невысоких энергозатратах.

### **ABSTRACT**

The subject of our research is the application of the powder and granular polymer materials for the production of the aerospace construction elements with a low specific weight and power consumption.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полимерные материалы, порошок, пористость, температура спекания, плотность.

### **ВВЕДЕНИЕ.**

Предметом исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для получения изделий с малыми удельным весом и энергозатратами. Предлагаемый способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов заключается в холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении. Причем спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции.

В качестве полимерного порошка использовали пентапласт. Пентапласт  $[-CH_2C(CH_2Cl)_2CH_2O-]_n$  – бесцветный термопласт, со степенью кристалличности 20 – 30%, плотностью 1,4 г/см<sup>3</sup>, температурой плавления 180°C, твердостью по Бринеллю 80 – 110 МПа [3].

Рассмотрены два способа получения пористой структуры композиционного материала.

Первый способ заключается в изготовлении изделий из порошковых полимерных материалов используя холодное прессование заготовок в закрытой форме и последующее их спекание и охлаждении. Спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера ( $t_{пл}$ ). Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции. [3].

Для исследования влияния  $t_{сп}$  на механические свойства изделий из пентапласта, полученных по данной технологии, и их материалоемкость были изготовлены образцы, температура спекания которых составляла  $0,8 \cdot t_{пл}$ ,  $0,66 \cdot t_{пл}$ ,  $0,4 \cdot t_{пл}$ , где  $t_{пл}$  - температура плавления полимера.

Для определения пористости структуры образцов была исследована с использованием оптического микроскопа Axiovert 200. На рисунке 1 представлены полученные фотомикрографы, снятые при  $50\times$  увеличении. Количественный анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image Processing System (IPS).

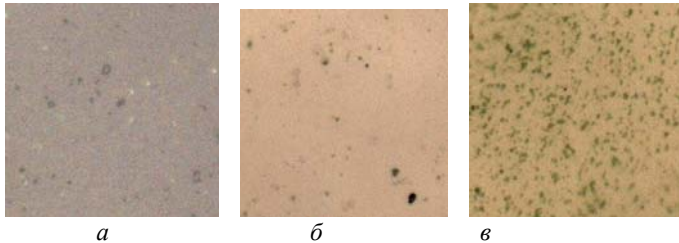


Рис. 1. Фотомикрографы образцов ( $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ ): *а* - образец с температурой спекания  $0,8 t_{пл}$ ; *б* - образец с температурой спекания  $0,66 t_{пл}$ ; *в* - образец с температурой спекания  $0,4 t_{пл}$ .

Фотомикрограф образца с  $t_{сп}=0,4 \cdot t_{пл}$  (рис. 1, *в*) при обработке программой IPS представлен на рисунке 2.

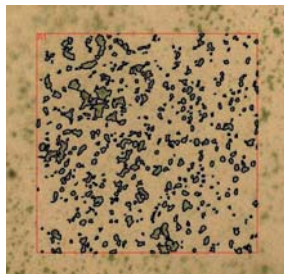


Рис. 2. Фотомикрограф образца, изображенного на рис. 1, *в* при обработке программой IPS.

Результаты количественного анализа структуры поверхности образцов представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что с увеличением температуры спекания пористость снижается, уменьшается количество пор на единицу площади, при этом средний эквивалентный радиус остается постоянным в пределах стандартного отклонения.

**Таблица 1. Количественный анализ структуры поверхности образцов.**

Температура спекания $t_{сп}$ [°C]	Количество пор на единицу площади [шт/мм <sup>2</sup> ]	Средний эквивалентный радиус поры, $R_{ср}$ [мкм]	Пористость, $\varepsilon$ [%]
72 (0,40 $t_{пл}$ )	$143,8 \cdot 10^3$	0,41	14,15
119 (0,66 $t_{пл}$ )	$33,4 \cdot 10^3$	0,44	2,98
144 (0,80 $t_{пл}$ )	$7,8 \cdot 10^3$	0,47	0,70

Снижение температуры спекания приводит к увеличению пористости материала, что снижает материалоемкость, но в тоже время приводит к снижению твердости изделий. Исследования показали, что использование температуры спекания  $0,66 \cdot t_{пл}$  для изготовления изделий из пентапласта, позволяет снизить материалоемкость минимально ухудшая механические свойства изделия. На способ получен патент РФ №2404055.

В качестве гранул применяли полиэтилен низкого давления (ТУ/TU 2211-145-05766801). Полиэтилен - бесцветный термопласт, плотность  $0,95 \div 0,97$  Мг/м<sup>3</sup>, температура плавления 129 – 135°C. Показатель текучести расплава (при 190°C/2,16 кг) зависит от назначения полиэтилена и находится в широких пределах от 0,85 до 65 (г/10 мин).

Прессование осуществляется с помощью пресс-формы представленной на рис 3 при давлении величиной 3 МПа. Температура спекания равна 110 – 140°C. После спекания пресс-форма охлаждается до температуры стеклования полимера 30°C, пресс-форма раскрывается, изделие вынимается.

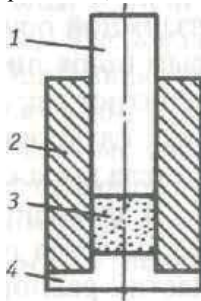


Рис.3. Пресс-форма для изготовления изделий из полимерных гранул: 1 — пуансон верхний; 2 — матрица; 3 — гранулы; 4 — пуансон нижний.

На рисунке 4 представлен внешний вид образцов полученных по данной технологии.

Изделие, полученное при температуре спекания  $t_{сп}$  ниже температуры текучести  $t_t$  полимера ( $t_{сп}=0,58 t_t$ ), имеет плотность образца  $\rho_{сп}=0,95 \cdot \rho_0$ , где:  $\rho_{сп}$  — плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{сп}$  ниже

температуры текучести полимера,  $\rho_0$  – плотность образца, полученного при температуре спекания  $t_{\text{сп}}$  равной температуре текучести  $t_r$  полимера.

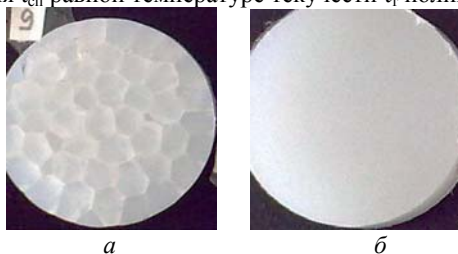


Рис. 4. Фотографии образцов: *a* - пористый образец,  $t_{\text{сп}}=0,58t_r$ , ( $110^\circ\text{C}$ );  $\rho_{\text{сп}}=0,95 \rho_0$ ; *б* - образец без пор,  $t_{\text{сп}}=1,00 \cdot t_{\text{пл}}$ , ( $190^\circ\text{C}$ );  $\rho_0=1,00 \text{ г/см}^3$ .

Изделие, полученное при температуре спекания, равной температуре текучести полимера ( $t_{\text{сп}}=1,00 \cdot t_r$ ), имеет  $\rho_0=1,00 \text{ г/см}^3$ .

На рисунке 5 представлены образцы, полученные при прессовании гранул, уложенных в форму в один слой (давление - 3МПа, 5 минут выдержки).

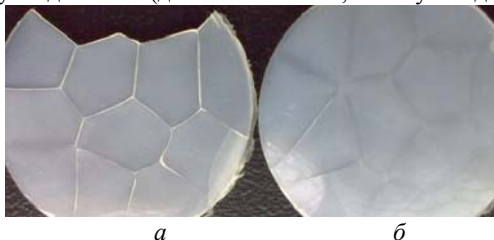


Рис. 5. Фотографии образцов: *a* -  $t_{\text{сп}}=0,77t_r$ , ( $133^\circ\text{C}$ ); *б* -  $t_{\text{сп}}=0,8 \cdot t_r$ , ( $140^\circ\text{C}$ )

Структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert 200. На рисунке 6 представлены фотомикрографы, полученные при 50х увеличении.

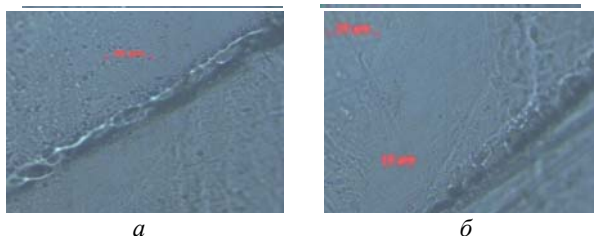


Рис. 6. Фотомикрографы образцов: *a* - образец с температурой спекания  $0,8 t_r$ ; *б* - образец с температурой спекания  $0,7 t_r$ .

На рисунке 6, *a* наблюдается наличие сварного шва, что и придает изделию повышенную прочность.

На способ получения патент РФ №2527049.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложен способ изготовления композиционного материала полученного из полимерных порошков или гранул, позволяющий снизить удельный вес конструкции. Исследовано влияние температуры спекания изделий на пористость и механические свойства.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Справочник по пластическим массам, под ред. В.М. Катаева, 2 изд., т. 1, М., 1975;
2. Ю.А. Мулин Защитные покрытия и футеровки на основе термопластов, Л., 1984.
3. Ю.А. Мулин, И.К. Ярцев, Пентапласт, Л., 1975.
4. Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

Чубуков Алексей Игоревич, Муратаев Фарид Исакович  
Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева (НИТУ-КАИ), 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10  
E-mail: chubukov.alexey@gmail.com, fmurataev@bk.ru

Аннотация: В данной работе установлены соотношения состава, структуры, видов термического упрочнения мартенситно-старееющей стали, применительно к медицинскому инструменту. Определены значения микротвердости HV/0,1 заготовок, типы применимой термической обработки и структура исследуемых материалов. Также рассмотрены различные составляющие фазы и их свойства, определены оптимальные значения термической обработки

Abstract: In this paper, was set the composition ratio, structure, types of thermal hardening of maraging steel, as applied to medical instruments. The values of the microhardness HV / 0,1 preforms applicable types of heat treatment and the structure of the materials. Various components of the phase are also considered and their properties, the optimal values of heat treatment.

Ключевые слова: мартенситно-старееющие стали, медицинский инструмент, структура, состав.

Keywords: maraging steel, a medical instrument, foreign materials, composition.

В настоящее время всё острее ощущается необходимость в высококачественных материалах медицинского оборудования. Качество

инструментов в большей степени зависит от состава материала, из которого он сделан, а также технологической наследственности.

Исследованы образцы мартенситно-старееющих сталей марок 03X12H8K5M2TЮ (ЗИ-90), 03X11H10M2T2 (ЭП-853) в различных технологических состояниях в виде листа, проволоки и деталей медицинского инструмента. Образцы сталей соответствующим образом подготовлены для измерения микротвердости. Проведены измерения отпечатков микротвердости, полученных методом Виккерса.

Для определения коэффициентов перевода результатов измерения микротвердости HV/0,1 на приборе RemetHX-1000 измерения диагоналей (3...7) отпечатков выполняются многократно на микроскопах ПМТ-3 (а), RemetHX-1000 (б) (Рис.1).

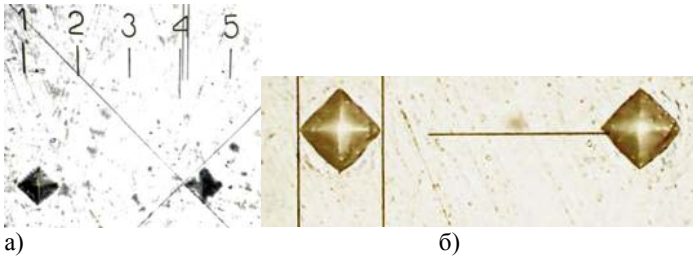
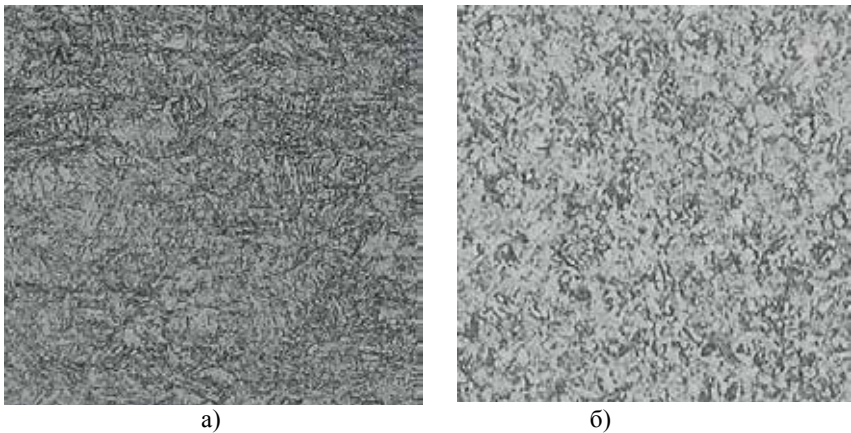


Рис.1 Особенности измерения отпечатков микротвердости в окулярах микроскопов ПМТ-3 (а) и RemetHX-1000 (б).





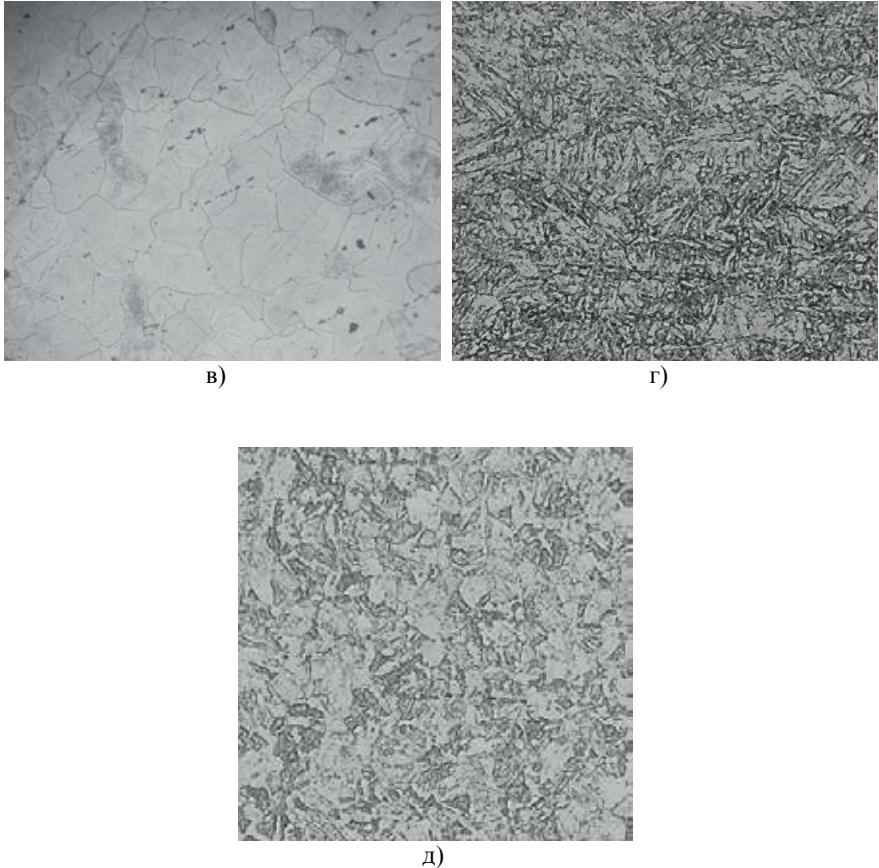


Рис.3 Микроструктура материалов а-3, б-1, в-5, г-4, д-2.

Как известно свойства материалов определяются не только составом, а и технологической наследственностью. Материалы, представленных на рисунке 3.а, г подвергались старению при температуре  $500^{\circ}\text{C}$ , вследствие чего образовалась упрочняющая фаза в виде пластинчатого мартенсита и матричная фаза в виде аустенита, путем испытаний определена высокая твердость этих фаз (табл. 1 столбец 4, 5). На рисунке 3.в) после травления материала было обнаружено, что термообработка не проводилась, измеренная твердость варьируется в диапазоне, указанном в табл. 1. Там же указаны параметры заготовок и деталей, их материалы и виды использованного оборудования измерения твердости.

Заготовки и детали из стали 03X12H8K5M2ТЮ, представленные на рисунке 3 г, д подвергались старению при температуре  $480^{\circ}\text{C}$ . Их значения твердости и состояние структуры более стабильно и технически оправдано.

Полученные результаты измерений твердости и микротвердости позволили обосновать оптимальный режим старения при температуре 480<sup>0</sup>С.

Термическая обработка, выполненная по режиму старения при температуре 500<sup>0</sup>С, приводит к завышенным значениям твердости, хрупкому состоянию и разрушению в условиях изготовления и при эксплуатации.

Таблица 1

Результаты измерения микротвердости HV/0,1 исследованных образцов

№	Обозначение	Материал	Твердость, HV (МПа <sup>х10<sup>-1</sup></sup> )		Наименован ие твердомера
			матрицы	Упрочняющ ей фазы	
1	2	3	4	5	7
31	Заготовка проволока	03X12Н8К5М2 ТЮ (ЗИ-90) Ø2,5мм	356...378	1055...1130	Remet НХ-1000
42	термически обработанная	03X12Н8К5М2 ТЮ (ЗИ-90) диаметр 2мм	356...378	980...1205	Remet НХ-1000
73	Деталь термически обработанная	03X11Н10М2Т 2 (ЭП-853), лист 3мм	774...779	802...921	Remet НХ-1000
84	Заготовка термически обработанная	03X11Н10М2Т 2 (ЭП-853) пруток диаметр Ø7мм	742...861	1055	ПМТ-3
12 5	Заготовка без термообработки	Проволока (ЗИ- 90) 03X12Н8К5М2 ТЮ Ø2мм	515...628	334-515	Remet НХ-1000

## Литература

1. ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

2. *Ф.И.Муратаев* Адаптация методики преподавания к требованиям ФГОС ВПО для повышения профессиональных компетенций студентов-материаловедов. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 1. С.194-197.

3. *Ф.И. Муратаев* Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 3. Выпуск 2. С.84-90.

УДК 541.182

## РЕОЛОГИЯ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Шарафутдинов Р.Ф.<sup>1</sup>, Снигерев Б.А.<sup>2</sup>, Галимов Э.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), 420111 г. Казань, К. Маркса, д. 10

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук, 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

*Аннотация. В данной работе рассмотрены принципы построения реологических уравнений состояния в рамках механики сплошных сред для жидких дисперсных пенообразных систем. Анализируются различные подходы, применяемые для построения реологических соотношений, описывающих поведение дисперсионной среды в зависимости от состава двухфазной системы и параметров, характеризующих коллоидно-химические свойства составляющих композиционных материалов.*

Ключевые слова: двухфазная среда, реология, ячеистая структура

## RHEOLOGY OF DISPERSE FILLED POLYMER SYSTEMS

Sharafytdinov R.F., Snigerev B.A., Galimov E.R.

*Abstract. In this paper the principles of rheological equations of state on the base of continuum mechanics for foamy liquid disperse systems are considered. The different approaches used to define rheological relations describing the behavior of the dispersion medium depending on the composition of the two-phase system parameters, characterizing colloid-chemical properties of the components of the composite materials, are analyzed.*

Key words: two-phase flow, rheology, cellular structure

Современная техника предъявляет всё возрастающие требования к качеству и свойствам применяемых материалов. Значительная роль в этом ассортименте материалов принадлежит вспененным пластмассам. Поэтому разработка и получение пенополимеров с требуемыми механическими, теплофизическими, электрическими и другими характеристиками, а также обеспечение высокой надёжности и долговечности изделий и конструкций на их основе составляет необходимое условие быстрого технического прогресса многих отраслей промышленности [1-4]. Свойства твердых пен коренным образом отличаются от свойств пен с жидкой дисперсионной средой. Вместе с тем прочность и другие физические, механические характеристики твердых пен в большей мере зависят от свойств жидкофазных пен, из которых они

получаются в результате химических реакций (полимеризации, гидротации и др.) или кристаллизации (образование замороженной пены). Важной прикладной задачей является создание научных принципов регулирования физико-химических свойств пены с целью получения пен с необходимыми технологическими (эксплуатационными) свойствами. Эта задача может быть решена на основе установления количественных зависимостей между основными параметрами структуры пены (кратностью, дисперсностью, формой пузырьков, толщиной пленок и капиллярным давлением) и кинетических закономерностей процессов, определяющих устойчивость пены (синергизм, диффузионный перенос газа в пене, колесценция и разрушение пленок и пены в целом). Поэтому для решения проблемы оптимизации свойств пены требуются эффективные методы исследования структурных параметров и процессов, протекающих в пене.

В настоящей работе исследуются установившиеся несмешивающиеся двухслойные течения неньютоновских жидкостей, образующиеся в результате слияния двух потоков в плоском канале с образованием границы раздела течения.

Пена - хорошо известная дисперсная система газ-жидкость. Как и другие дисперсные системы, например суспензии и эмульсии, пена имеет сильно развитую межфазную поверхность, что определяет ее свойства. Контакты между газовыми пузырьками в растворе при пенообразовании, как и контакты между капельками в эмульсиях и твердыми частицами в суспензии, происходят через различные толстые и тонкие жидкие прослойки (пленки), обычно содержащие поверхностно-активные вещества. Свойства этих пленок в значительной степени определяют свойства дисперсных систем (пен, эмульсий, суспензий). К наиболее важным параметрам, характеризующим полидисперсную пену, относятся кратность, дисперсность и устойчивость пены. Кратность пены  $N$  представляет собой отношение объема пены  $V_F$  к объему содержащейся в ней жидкости  $V_L$  [1]

$$N = V_F / V_L = (V_G + V_L) / V_L = 1 + V_G / V_L,$$

где  $V_G$  - объем газа в пене. Дисперсность пены определяется средним размером пузырьков газа или распределением пузырьков по размерам. Под устойчивостью пены в общем случае понимают её способность сохранять неизменными во времени основные параметры: дисперсность пузырьков, содержание жидкости (кратность) и объем пены в целом. В качестве простейшей количественной меры часто используют время разрушения пены. Пена как дисперсная система в отличие от составляющих ее жидкости и газа, характеризующихся из реологических параметров лишь вязкостью, обнаруживает сложное поведение при воздействии механических нагрузок. Для полного описания реологических свойств такой системы необходимо знать константы упругости (модуль сжатия и растяжения, модуль сдвига и коэффициент Пуассона), прочности и пластичности (предельное напряжение сдвига, или эффективная вязкость) и релаксационные параметры- спад напряжений или упругое последствие. Сложность изучения реологических

свойств пены связана с изменчивостью свойств при деформации, с выделением жидкости из пены, разделением пены при малых концентрациях на жидкость и газ, локальным (в местах наибольших деформаций) разрушением пены под действием механических нагрузок. Важной реологической характеристикой пены как дисперсионной системы является вязкость, однако теория структурной ( эффективной ) вязкости для пен еще не разработана. Значения структурной вязкости  $\eta^*$ , полученной разными исследователями, изменяются в широком пределе в зависимости от кратности и дисперсности пен и от напряжения сдвига  $\gamma$  (скорости течения). В работе [5] представлено соотношение для описания реологических свойств дисперсных пен в виде

$$\eta = \eta^* \left( \gamma \right) + \frac{\tau_\beta}{\gamma}, \quad (1)$$

где  $\dot{\gamma}$  - скорость деформации сдвига,  $\tau_\beta$  - предельное напряжение сдвига. Модуль сдвига пены представляет собой коэффициент пропорциональности между приложенным напряжением  $\tau$  и сдвиговой деформацией  $\Delta l$

$$G = \frac{\tau \Delta l}{H}, \quad (2)$$

где  $H$  - расстояние между пластинами реометра. В работе [6] получено следующее выражение для модуля сдвига пены

$$G = \frac{2}{5} p_\sigma = \frac{2}{5} \left( \frac{2}{3} \sigma \varepsilon \right) \approx \frac{4\sigma}{3R_V}, \quad p_\sigma = p_G - p_0 = 4\sigma / R_p,$$

где  $R_V$  - средний (по объему) размер пузырьков,  $p_\sigma$  - капиллярное давление внутри пузырька,  $p_0$  - давление в жидкой пленке,  $\varepsilon$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости,  $\varepsilon$  - удельная поверхность пены,  $R_p$  - средний радиус газовых пузырьков. В работе [7] рассмотрено поведение пен и эмульсий при сдвиговом напряжении с использованием гексагональной модели упаковки и с учетом кратности пены и краевых углов. Применительно к такой модели получены следующие выражения для модуля сдвига  $G$  и предельного напряжения сдвига  $\tau_\beta$  в виде

$$G = 0.525 \frac{\gamma \cos \theta}{R_V} \varphi^{1/2}, \quad \tau_\beta = 1.05 \frac{\gamma \cos \theta}{R_V} \varphi^{1/2} F_{\max},$$

где коэффициент  $F_{\max}$  изменяется в пределах от 0.1 до 0.5 в зависимости от объемной доли газовой фазы  $\varphi$  в пене. Для "сухих" пен ( $\varphi \rightarrow 1$ ) предельное напряжение сдвига может быть рассчитано по формуле

$$\tau_\beta = 1.05 \frac{\gamma \cos \theta}{R_V}.$$

Предполагается, что для реальных пен и эмульсий величина  $\tau_\beta$  может быть представлена общей зависимостью

$$\tau_{\beta} = C \frac{\gamma \cos \theta}{R_V} \varphi^{1/2} F_{\max},$$

где  $C$  - коэффициент порядка единицы. В работе [8] приводится выражение предельного напряжения сдвига пены с учетом угла смачивания

$$\tau_{\beta} = 0.5 \frac{N_f}{N_f - 1} p_{\gamma} \cos \theta,$$

где  $N_f$  число пленок, касающихся пластинки (задающей напряжение сдвига) на единице поверхности,  $\theta$  - средний угол между пленками и пластиной.

В заключение можно отметить, что коллоидно-химическое рассмотрение структуры природных и синтетических пенообразных дисперсных материалов позволяет выяснить механизмы структурообразования, и это, в свою очередь, открывает возможности разработки принципов создания материалов с заданными свойствами. Научно-технический прогресс в развитии технологии получения, переработки и применения разнообразных материалов тесно связан с дальнейшей разработкой теоретических представлений в области физикохимии дисперсных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение о субсидии № 14.583.21.0057 от 28.07.2016 г.).

### Список литературы

1. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989, 464 с.
2. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 172с.
3. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1980. 346с.
4. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия, 1983. 264с.
5. Krainik A.M. Foam Flows. *Ann. Rev. Fluid. Mech.* 1988. vol. 20. p.325- 376.
6. Khan S.A., Armstrong R.C. Rheology of foams. I. Theory of dry foams//*J. of Non-Newtonian Fluid Mech.* 1986, vol. 22. p.1-22.
7. Khan S.A., Armstrong R.C. Rheology of foams. II. Effects of Polydispersity and liquid viscosity for foams having gas fraction approaching unity//*J. of Non-Newtonian Fluid Mech.* 1987, vol. 25. p. 61-92.
8. Princen H.M. Rheology of foams and highly concentrated emulsions: I. Elastic properties and yield stress of a cylindrical model system//*J. Coll. Interface Sci.*, 1983, vol. 91., p.160-172.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

к.т.н. Шафигуллин Ленар Нургалеевич, д.т.н. Астащенко Владимир Иванович,  
к.т.н. Романова Наталья Владимировна, к.т.н. Ибрагимов Айнар Равилевич,  
Шафигуллина Гульназ Робертовна, Шафигуллина Алия Нургалеевна  
ФГБОУВО Набережночелнинский институт (филиал) КФУ  
423800, РФ, Республика Татарстан, г.Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10а  
e-mail: misharin\_82@mail.ru

В работе представлены исследования физико-механических и эксплуатационных свойств стеклонаполненных полиуретановых (ППУ) материалов, полученных по технологии Long Fiber Injection. Выявлена возможность применения стеклонаполненных ППУ при изготовлении деталей интерьера с различными текстурами поверхностей (панели приборов, обшивка дверей, подлокотники).

The paper presents the study of physical and mechanical properties of the glass- and eklplutatsionnyh polyurethane (PUR) materials obtained by the Long Fiber Injection technology. Revealed the possibility of using glass-filled polyurethane foam in the manufacture of interior parts with different textures of surfaces (dashboard, door trim, armrests).

Ключевые слова: стеклонаполненных ППУ, физико-механические и эксплуатационные свойства

В настоящее время на основе синтетических смол, каучуков и высокомолекулярных соединений изготовлены сотни марок эластичных и жестких газонаполненных материалов, в том числе пенополиуретанов (ППУ), используемых во всех отраслях промышленности и строительства [1]. Современные ППУ имеют низкую себестоимость производства, невысокую токсичность, возможность эксплуатации в широком температурном диапазоне. Благодаря большому количеству исходных компонентов ППУ возможно варьирование их свойств в широком диапазоне [2].

Пенополиуретаны используются в качестве шумоизоляционных и теплоизоляционных материалов, для изготовления деталей интерьера и экстерьера автомобилей, элементов декора в строительстве. Армированные ППУ применяются в качестве конструкционных материалов [3].

Стеклонаполненные пенополиуретаны позволяют изготавливать крупногабаритные элементы с многослойной структурой, составленной из различных комбинаций твердого полиуретана, твердого и пористого полиуретана, твердого и пористого полиуретана и коротких стекловолокон для удовлетворения различных функциональных и эстетических требований в разных областях применения. Целевым рынком для этой технологии является тот, который в настоящее время использует стекловолокнистые полиэфиры для

повышения прочности крупногабаритных элементов, которые изготовлены методом штамповки или термоформования из листов ABS (сополимер акрила, бутадиена и стирола) и акрила (полиметилметакрилат). Возможность исключения мономера стирола и других подобных растворителей в крупносерийном производстве в настоящее время является не только экономическим преимуществом, но также и важным фактором с точки зрения гигиены и охраны труда рабочих и безопасности окружающей среды.

Провели исследования изделий, состоящих из: лицевой слой – полиуретановая пленка; армирующий слой (каркас) – стеклонаполненный жесткий пенополиуретан; промежуточный (соединяющий) слой – полужесткий ППУ. Изделия изготавливались по технологии «Long Fiber Injection» (LFI) [6].

Результаты исследований физико-механических и эксплуатационных свойств представлены в таблице. Испытания проводили при температуре 21 °С, влажности воздуха 55%.

Таблица. Физико-механические и эксплуатационные свойства изделий из стеклонаполненного ППУ

Наименование показателя	Результат испытания	Методы испытания	Оборудование
Разрывная нагрузка лицевого слоя, кгс Продольное направление Поперечное направление	45 43	ГОСТ 17316 [7]	Машина испытательная универсальная LRXplus
Относительное удлинение лицевого слоя, % Продольное направление Поперечное направление	237 193		
Прочность связи лицевого слоя с ПЖПУ с армирующим слоем	Отсутствие трещин на поверхности, расслоения детали	ГОСТ 17317 [8]	Машина испытательная универсальная Н1К-Т
Устойчивость материала к воздействию температуры: +100°С в течение 12 ч -45 °С в течение 16 ч	Отсутствие отслоения лицевого слоя, изменения внешнего вида, деформации, расслоения	ТТМ 37.102.0026 - 2007 методика п.1 [9]	Камера моделирования условий окружающей среды МКТ 115



Морозостойкость -45 °С в течение 6 ч	Отсутствие изменений по внешнему виду	ТТМ 37.102.0026 - 2007 методика п.3 [9]	
Теплостойкость (изменение геометрических размеров детали, %)	0,47 отсутствие отслаивания и вздутия лицевого покрытия	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.2. [9]	Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05; Низкотемпературная лабораторная электропечь SNOL 60/300
Усадка, %	0,22	ТТМ 37.102.0026 – 2007 методика п.5. [9]	

Результаты испытаний выявили высокие значения физико-механических и эксплуатационных свойств стеклонаполненных ППУ. Полученные результаты позволяют рекомендовать использовать стеклонаполненные ППУ в качестве альтернативы традиционным стеклопластиковым материалам при производстве деталей интерьера с различными текстурами поверхностей (панели приборов, обшивка дверей, подлокотники) [6].

Применение технологии LFI позволяет повысить гибкость и качество производства, снизить затраты на изготовление изделий, особенно больших габаритов, за счет высокого качества изготовления и небольшого количества отходов в процессе производства.

### Список литературы

1. Интернет-ресурс: Газонаполненные пластиковые массы (пенопласты). <http://chem21.info/info/895542/> (Дата обращения: 13.11.2015).
2. Терентьева Н.Н. Лабораторный практикум по дисциплине химия полиуретанов/ Н.Н. Терентьева, В.А. Данилов, М.В. Кузьмин, С.М. Верхунов // учебное пособие. - М.: ЧГУ им. И.Н.Ульянова, 2007. - 97 с.
3. Интернет-ресурс: ООО «Автотехник». <http://автотехник.net/ru/news/44-osvoeno-novoe-izdelie-2014.html> (Дата обращения: 13.11.2015)
4. Интернет-ресурс: <http://www.dow-izolan.com/ru/products/> (Дата обращения: 06.07.2016)
5. Интернет-ресурс: <http://poly-tex.ru/fiberglass/glass-roving/> (Дата обращения: 06.07.2016)
6. Интернет-ресурс: <http://www.nccrussia.com/ru/lfi> (Дата обращения: 14.10.2016)
7. ГОСТ 17316 - 71. Кожа искусственная мягкая. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве; Введен с 01.01.1973. М.: Изд-во стандартов, 1972

8. ГОСТ 17317 - 88. Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями; Введен с 01.07.1989. М.: Изд-во стандартов, 1988
9. Технические требования на материалы № 37.102.0026 - 2007

УДК 62-233.2/.7

## **ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ЦЕМЕНТОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ, КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Швеёв Иван Андреевич, Швеёв Андрей Иванович,  
Швеёва Екатерина Ивановна, Швеёва Татьяна Владимировна  
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета  
423831, Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Мира, д.68/19.

Аннотация.

Установлена наследственность графитовых включений в наплавленном слое от переплавляемых заготовок их спецчугуна. Показана возможность управления структурным состоянием и качеством наплавленного слоя за счет технологических параметров наплавки и термической обработки деталей. Предложены пути повышения износостойкости спецчугуна.

*Ключевые слова:* толкатель клапана, износостойкость, наплавка, обработка, спец.чугун.

Abstract.

Installed heredity graphite inclusions in the deposited layer remelted billets from their spacegun. A possibility of controlling the structural state and quality of the deposited layer due to the technological parameters of welding and heat treatment of parts. The ways of increasing the wear resistance of spetsopoula.

*Keywords:* Cam follower, wear, surfacing, machining, special iron.

Решением проблемы сохранения, эксплуатирующего парка автомобилей в технически исправном состоянии является обеспечение предприятий автомобильного транспорта запасными частями за счет восстановления изношенных деталей, позволяющее повторно, а иногда и многократно использовать определяющие ресурс детали автомобиля.

Эффективный метод, позволяющий успешно решать проблему запасных частей, это восстановление изношенных деталей. При этом на восстановление ремонтнопригодных деталей меньше расходуется металла, электроэнергии и труда, чем на изготовление новых. Экономическая целесообразность восстановления деталей определяется тем, что большая часть их выходит из строя вследствие естественного износа рабочих поверхностей,

сопровождаемого незначительной потерей металла по весу (не более 0,2 - 0,3%). Например, 95% деталей двигателей внутреннего сгорания выбраковывают при износах, не превышающих 0,3мм, и большинство из них могут быть вторично использованы после восстановления.

Реновация по сравнению с производством новых запасных частей дает значительную экономию материальных и трудовых ресурсов, т.к. заготовкой является сама изношенная деталь, сохраняющая ещё значительный, объем прошлого труда. Восстановление автомобильных деталей стало одним из важнейших показателей хозяйственной деятельности крупных ремонтных, специализированных малых и индивидуальных предприятий. Создана фактически новая отрасль производства — восстановление изношенных деталей. Особенно это актуально на территории Дальнего Востока и Сибири, где небольшое количество дилерских центров. По ряду наименований важнейших наиболее металлоемких и дорогостоящих деталей вторичное потребление восстановленных деталей значительно больше, чем потребление новых запасных частей. Так, например, восстановленных блоков двигателей используется в 2,5 раза больше, чем получаемых новых, коленчатых валов — в 1,9 раза, картеров коробок передач — в 2,1 раза больше, чем новых. Себестоимость восстановления для большинства восстанавливаемых деталей не превышает 75% стоимости новых, а расход материалов в 15 — 20 раз ниже, чем на их изготовление. Высокая экономическая эффективность предприятий, специализирующихся на восстановлении автомобильных деталей, обеспечивает им конкурентоспособность в условиях рыночного производства.

Среди автомобильных деталей подвергаемые в процессе эксплуатации сильному износу, особое место занимает детали толкателя клапана газораспределительного механизма грузовых автомобилей. Поэтому исследования, направленные на восстановление деталей данной группы, является чрезвычайно актуальным. Вследствие этого необходимо использовать такие методы, которые позволили бы полностью восстановить не только геометрические размеры детали, но и эксплуатационные свойства.

Основопологающим фактором стабилизации и достижения на высоком уровне ресурса деталей является повышение качества поверхностного слоя, так как он во всех случаях оказывается наиболее нагруженным. В зависимости от вида и степени нагрузки, характера среды и т.д. для большинства изделий эффективными являются общепризнанные технологии упрочнения контактирующих поверхностей, базирующих на нанесении покрытий, легирования, термического и деформационного воздействия, а также за счет их комбинирования. В отдельных случаях несомненное преимущество имеет применение сплавов с повышенными специальными свойствами. К ключевым деталям двигателя, определяющим его долговечность, относятся детали газораспределительного механизма, для изготовления которых используется широкий спектр материалов.

Надежность и долговечность в эксплуатации пары «распредвал-толкатель» находится в прямой зависимости от работоспособности поверхности контакта кулачка распредвала с торцом толкателя клапана. Характерной особенностью

этой пары, является случай контакта разнородных материалов, а именно стальной закаленной цементованной поверхности распредвала с чугуном толкателя. Особые требования предъявляют к контактирующей поверхности толкателя, представляющей наплавленный спецчугун на стальную основу детали (рис.1). Эти требования включают в себя показатели твердости (не менее 61 HRC) и структуре (ледебурит и участки мартенсита с остаточным аустенитом). Кроме того, допускается в небольшом количестве присутствие цементита и точечного, равномерно распределенного графита. Недостатком толкателей в эксплуатации является дисперсия их стойкости (неравномерный износ, выкрашивание и т.д.), несмотря на то, что они изготовлены и упрочнены в одинаковых условиях производства, имеют высокую и заданное структурное состояние (рис.2). Однако стабильность отдельных элементов структурного состояния чугуна на детали, таких как графитовые включения, не всегда достигается и немаловажную роль в этом играет макро- и микростроение наследуемое от литой заготовки, используемой для наплавки.

Торец толкателя клапана (рис.1), работающего по кулачку распредвала, наплавляли спецчугуном следующего состава (мас.%): C-3.1÷3.4%; S-2.1÷2.35%; Mn-0.8÷1.0%; Ni-0.4÷0.75%; Mo-0.4÷0.60%; S≤0/1%; P≤0.2%. Для наплавки использовали литую заготовку Ø10×48мм и весом от 27.0 до 28.5грамм. Наплавку осуществляли на установке УНТ-1 с нагревом ТВЧ стальной части детали до 1100°C, а литой заготовки из чугуна до 1250°C.

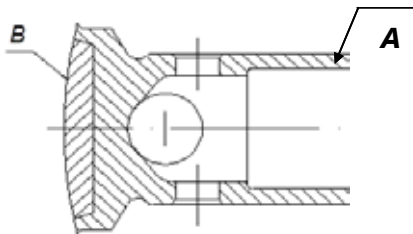


Рис.1 Эскиз толкателя клапана:  
А – Сталь 35 «селект»; В – Спецчугун.



Рис. 2 Вид и характер износа поверхности толкателя клапана.

Охлаждение детали выполняли водой под давлением от 1.0 до 2.0 атм., подаваемой во внутреннюю полость детали. После окончательной механической обработки детали подвергали оксидированию в увлажненной азотной атмосфере шахтной печи США 8.12/6 при температуре  $450 \pm 5^\circ\text{C}$  с течением 4-х часов. Для химико-спектрального анализа сплавов использовали микрофотометр МФС-51 и анализаторы АН-7529 и АС 7232.

Методология макро- и микроисследований базировалась на применении стандартных методов контроля и испытаний с использованием поверенного и лицензированного оборудования. Контроль структуры до и после травления 4%-ым раствором пикриновой кислоты проводили на микроскопах «Неофот-2» и «Эпитип» при увеличениях 100 и 400\*. Твердость замеряли по Роквеллу, а микротвердость отдельных структурных составляющих измеряли на микротвердометре «Дюримет» (Германия). Содержание, вид и характер распределения графита и структуру наплавленного слоя на детали оценивали по ГОСТ 3443-87.

Макроанализ выполняли после травления наплавленных деталей при температуре  $70-85^\circ\text{C}$  в течении 10 минут в 50%-ном водном растворе соляной кислоты. Выявление пор и трещин на готовых изделиях проводилось магнитно-порошковым методом на дефектоскопе модели ДН200Р.

Применяемый в настоящее время для наплавки спецчугун обладает хорошей износостойкостью, но долговечность этих деталей в эксплуатации лимитирует присутствие в сплаве нежелательных макро- и микродефектов. К таковым следует отнести скопления графитовых включений, поры, трещины, наличие немартенситных продуктов превращения и остаточного аустенита. Несмотря на большой спектр исследований в области структурообразования и графитизации чугуна несомненный интерес представляют вопросы касающиеся наследственности структуры и свойств сплава после его переплава. В работе изучено влияние содержания кремния, как одного из основных графитизирующих элементов, на структуру металлической основы и состояния графитовых включений в наплавленном слое, сформированном с большой скоростью кристаллизации и последующего охлаждения переплавленного чугуна. Установлено, что изменение содержания кремния в чугуне с 0,98 до 2,2% сохраняет высокую твердость наплавленного слоя (60-61 HRC), структура которого состоит из цементита, ледобурита, мартенсита, остаточного аустенита и включений графита. При пониженном содержании кремния (0,98 и 1,3%) в сплаве наблюдается измельчения мартенсито-аустенитных участков и по данным рентгеноструктурного анализа количество остаточного аустенита составляет 3-5%. Наряду с точечным равномерно распределенным графитом при повышенном содержании в чугуне кремния (2,2%) дополнительно наблюдается и выделение эвтектического (в виде розеток) графита. Заметное влияние кремния оказывает на свойства структурных составляющих в наплавленном чугуне. Увеличение его содержания с 0,98 до 2,2% способствует постоянному повышению микротвердости ледобурита, которая достигает значения ~ 1080HV. В отношении мартенсита выявлено, что максимальное значение микротвердости наблюдается при содержании в наплавленном слое

1,95% кремния. Изменение содержания этого элемента в сторону увеличения или уменьшения от указанного значения снижает микротвердость мартенсита.

Ключевое внимание уделено вопросам наследования наплавленным слоем формы и распределения графита от литых заготовок. Установлено, что температурный режим переплавки литых заготовок и выдержки металла в жидком состоянии оказывает заметное влияние на характер графитовых включений в наплавленном слое детали. Результаты металлографических исследований и длительный производственный опыт убеждают, что наблюдается связь между состоянием графита в заготовке и наплавленном слое детали и дают основания утверждать, что имеется реальная возможность управлять этим явлением путем изменения технологических параметров процесса наплавки. Присутствие пластинчатого и розеточного графита в заготовках не только снижает их твердость, но и сохраняет нежелательное состояние графита в наплавленном слое независимо от температуры и времени кипения чугуна в исследуемых пределах. Наличие точечного с включениями розеточного графита в белом чугуне способствует повышению твердости заготовок до 46-54 HRC и такое состояние графита сохраняется в наплавленном слое, если температура кипения чугуна составляет 1230°C и ниже. Увеличение времени выдержки до 12 секунд сплава в жидком состоянии при температуре 1230°C, как и увеличение температуры кипения чугуна до 1250°C благоприятствуют растворению скоплений графита и равномерному распределению точечных его выделений в структуре наплавки. Полученные результаты хорошо согласуются с мнением известных ученых [1,2], указывающим, что одним из эффективных методов управления наследственностью является переплавка чугуна с последующим определенным перегревом.

Заметное влияние на свойство спецчугуна оказывает процесс охлаждения деталей после наплавки. Уменьшение давления подаваемой воды внутрь детали для охлаждения с 1,2 атм. до 0,4 атм. снижает микротвердость мартенсита до 504-530 HV при сохранении микротвердости ледебурита на уровне 1000-1100 HV. Одним из резервов повышения микротвердости мартенситной составляющей до 700-725 HV, увеличение твердости стальной основы 47-50 HRC и наплавленного слоя до 61-62 HRC, а также уменьшения глубины залегания пор является введение дополнительного наружного охлаждения под тарелку детали после ее наплавки (таб.1 и таб.2). Кроме этого эффекта в результате ускоренного охлаждения наблюдается направленная кристаллизация сплава по всему объему наплавленного слоя и создаются положительные условия для стабильного формирования точечного равномерного распределенного графита в наплавке.

Таблица 1

*Свойства деталей и наплавленного слоя после различных условий охлаждения.*

Способ охлаждения	Твердость, HRC		Микроструктура наплавленного слоя	
	Стальной основы	Наплавленного слоя	Основа	Состояние графита
Подача воды во внутрь детали	45-47	59-60	Ц+Л+ участки М и Аост.	Точечный и эвтектический
С дополнительным наружным охлаждением	45-50	61-62	Ц+Л+ участки М и Аост.	Точечный, равномерно распределенный

*Примечание:* Давление подающей воды 1,2 атм., температура 170<sup>0</sup>С.

Обозначение: Ц – цементит; Л – ледебурит; М – мартенсит; А – аустенит.

Дополнительным условием повышения износостойкости деталей может служить повышение противозадирных свойств рабочей поверхности, которые достигаются в результате термического оксидирования. Особое внимание заслуживает технология оксидирования толкателей клапана, которая позволила существенно повысить износостойкость деталей (табл.2).

Технология предусматривает очистку и обезжиривания деталей в горячем (70-80<sup>0</sup>С) растворе моющего средства марки КМ-1, просушивания, нагрев до 300<sup>0</sup>С в защитной атмосфере на основе азота, далее прекращают подачу азота и нагревают до 450<sup>0</sup>С в увлажненной атмосфере, создаваемой за счет введения в печь воды в количестве 1,0-1,4 л/час в расчете на 1 м<sup>3</sup> рабочего пространства, выдерживают в течение четырех часов, а далее охлаждают до 180-200<sup>0</sup>С в этой среде, а затем на воздухе.

Таблица 2

*Влияние параметров оксидирования на свойства деталей.*

Параметры оксидирования		Толщина * оксидированного слоя, мкм. (сталь/чугун)	Величина износа, ** мкм.
400	1,2	5/4	10,5
	1,4	5/4	10,5
450	0,5	4/2	17,5
	1,0	5/4	11,0
	1,2	5/4	11,5
	1,4	6/5	10,0
	2,0	7/5	19,5

(отслаивание)

500	1,0	6/4	12,5
	1,2	6/4	13,0
	1,4	7/5	10,0

*Примечание:* \* - оксидный слой получен при 150 минутной выдержке

\*\* - величина износа определена после 53 часового испытания на стенде.

### **Заключение**

1. Показана восстановительно-упрочняющая обработка биметаллических и цементованных деталей, как один из видов энергосберегающих технологий на автомобильном транспорте и установлена возможность управления структурным состоянием наплавленного слоя за счет технологических параметров наплавки спеччугуна и термической обработки деталей.

2. Чистота поверхности заготовок и скорость охлаждения деталей после наплавки оказывают непосредственное влияние на образование пор и глубину их залегания в наплавленном слое.

3. Дополнительное повышение износостойкости наплавленного слоя достигается за счет термического оксидирования деталей.

### **Литература**

1. Гиршович, Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н.Г. Гиршович. – М.: Машиностроение, 1966. – 562с.

2. Кушнирский, А.С. Влияние наследственности, формы графита исходных материалов, субмикроскопических включений и характера шлаков на структуру и механические свойства чугунного литья / А.С. Кушнирский. // Литейное дело, 1936. - № 2. – С.13-18.

УДК 621.73.01:669.14.018

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ**

Швеёва Татьяна Владимировна, Астащенко Владимир Иванович,  
Швеёв Андрей Иванович, Запяднова Надежда Николаевна,  
Новиков Евгений Евгеньевич

Набережночелнинский институт  
Казанского (Приволжского) федерального университета,  
423812, г.Набережные Челны, пр.Сююмбике, д. 10А.  
E-mail: astvi-52@mail.ru

**Аннотация.** Показано преимущество деформированных стальных полуфабрикатов перед литыми. Представлена связь прокаливаемости стали с



величиной твердости в сердцевине зуба детали и усталостно-изгибной стойкостью шестерни. Для повышения стойкости деталей в эксплуатации рекомендовано регламентировать прокаливаемость стали и использовать горячедеформированные полуфабрикаты.

**Ключевые слова.** Сталь, зубчатые колеса, прокаливаемость, полуфабрикат, эксплуатационная стойкость.

**Annotation.** *The advantage of deformed semi-finished steel to cast. Steel with a hardness value in the core parts of the tooth and the flexural fatigue-resistant gear presented Us hardenability To increase the resistance of parts in use is recommended to regulate the hardenability of steel and semi-finished Hot-use.*

**Keywords.** *Steel, gears, hardenability, semi-finished product, service durability.*

При производстве деталей различного функционального назначения повсеместно используются стальные полуфабрикаты, изготовленные по различным технологическим схемам: методами горячей и холодной пластической деформации, литьем, сваркой и т.д. Известно [1-4], что в формировании свойств готового изделия участвуют не только стадии технологического металлопередела на пути преобразования полуфабриката в деталь, но и наследуемые от металлургии химсостав, макро- и микростроение сплава и другие особенности. Об этом убедительно свидетельствует изменение свойств литой и горячедеформированной стали с различным содержанием углерода (табл.1). В результате деформирования стали устраняется пористость, происходит заварка дефектов, дробятся неметаллические включения и карбиды и создается благоприятная структура в сплаве, что и обеспечивает более высокий уровень механических свойств полуфабрикатов. Однако, несмотря на применение горячедеформированных полуфабрикатов и идентичность технологий металлопередела в машиностроении, эксплуатационная стойкость деталей колеблется в довольно широких пределах. Поэтому разработка и реализация решений по повышению эксплуатационной стойкости деталей является важной и актуальной задачей в автомобилестроении.

Таблица 1.

Свойства углеродистой стали в литом и деформированном состоянии.

Содержание углерода, % мас.	Литая сталь		Сталь после горячейковки		Увеличение (%) свойств на деформированной стали	
	$\sigma_B$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\epsilon$ , %
0,2	370	18	420	22	13,5	22,2
0,4	390	12	530	18	35,9	50,0
0,6	470	7	690	10	46,8	42,8

Обозначение:  $\sigma_B$ -предел прочности;  $\epsilon$  -относительное удлинение

Статистический анализ результатов исследований деталей, вышедших из строя в эксплуатации показывает, что их разрушение начинается с поверхности и очагом разрушения служат конструктивные, технологические и металлургические концентраторы напряжений. Особое внимание заслуживает методология выбора марки стали для зубчатых деталей машин. В таблице 2 приведены результаты стеновых испытаний цементованных зубчатых деталей из стали 20ХГНМТА (ТУ 14-1-5509-2005). Видно, что при практически идентичных показателях твердости, глубины и микроструктуры упрочненного слоя стойкость деталей отличается более чем в 1,5 раза. С уверенностью можно сказать, что основным показателем, определяющим стойкость деталей, послужила твердость сердцевины зуба шестерни.

Таблица 2.

### Стойкость цементованных деталей при стеновых испытаниях

N п/п	Прокаливаемо сть $\Pi \frac{HRC}{9}$	Твердость, HRC		Глубина цементованного слоя, мм	Стойкость детали, час
		поверхности	сердцевины		
1	43,5	61,5	44,0	1,20	2,55
2	39,0	61,5-62,0	36,0	1,15	4,1

Примечание: Глубина цементованного слоя определена во впадине  
зуба - наиболее опасном сечении

Пониженной стойкости деталей соответствует высокая (44 HRC) твердость и которая, несомненно связана с прокаливаемостью. По мнению многих специалистов и нашему заключению, наиболее благоприятной твердостью в сердцевине детали являются значения от 35 HRC до 39 HRC[5-7]. Эта характеристика зависит от многих металлургических факторов и должна регламентироваться в стали с учетом ее фактического применения в машиностроении при производстве разномодульных зубчатых деталей. Поэтому на практике рекомендуется при определении прокаливаемости стали методом торцевой закалки по ГОСТ 5657-69 базироваться на контроле твердости той зоны на стандартном образце, скорость охлаждения которой идентична скорости охлаждения сердцевины зуба детали при ее закалке в масле.

### Выводы:

1. Высокая эксплуатационная стойкость деталей достигается при применении горячедеформированных полуфабрикатов и стали со строго определенной прокаливаемостью.
2. Для изготовления зубчатых деталей необходимо использовать сталь с гарантированным обеспечением твердости в сердцевине зуба на уровне 35-39 HRC.

## Литература

1. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах/В.И. Никитин, К.В. Никитин.- М.:Машиностроение, 2005.- 476 с.
2. Астащенко В.И. Контроль качества и наследственность строения стали при технологическом металлопеределе / В.И. Астащенко, А.И.Швеев, Т.В. Швеева.- М.:Academia, 2011.- 239 с.
3. Технологические основы обеспечения качества машин /К.С.Колесников, Г.Ф.Баландин, А.М. Дальский и др.:под ред.К.С.Колесникова-М.:Машиностроение, 1990.-256 с.
4. Качанов Н.Н. Прокаливаемость стали./Н.Н.Качанов - М.:Металлургия,1978.-192с.
5. Кальнер В.Д. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей. Справочник./В.Д. Кальнер - М.: Машиностроение,1984.-384 с.
6. Астащенко В.И. Технологические методы управления структурообразованием стали при производстве деталей машин / В.И. Астащенко, В.Г.Шибиков.- М: Academia, 2006.- 328 с.
7. Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. / В.М.Зинченко - М:Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2001.- 303 с.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

Шибиков Владимир Георгиевич, Панкратов Дмитрий Леонидович,  
Андреев Антон Павлович, Утяганов Рамиль Фавзятovich

Россия, Республика Татарстан, г. Набережные Челны,  
Набережночелнинский институт (филиал) КФУ

*Рассмотрены основные параметры, влияющие на силу деформирования, интенсивность пластической деформации и ее распределение при ИПД многократным выдавливанием, даны рекомендации по выбору рациональных параметров.*

*Are considered the key parameters influencing the deformation force, intensity of plastic deformation and its distribution at IPD multiple extrusion are considered, recommendations about a choice of rational parameters are made.*

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, выдавливание, моделирование.

Одним из методов получения субмикроструктурной или нанокристаллической структуры, в металлах и сплавах, является интенсивная пластическая деформация (ИПД) [1].

Основные технологические этапы предлагаемого метода приведены на рисунке 1 [2, 3].

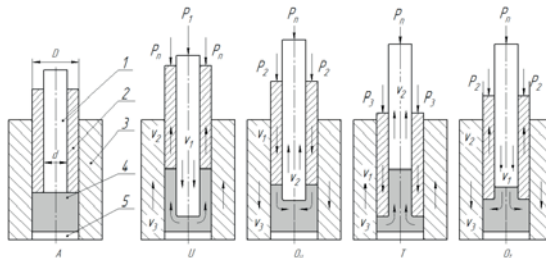


Рисунок 1 Схема процесса ИПД выдавливанием:

А - исходная позиция; U - обратное выдавливание «стакана»; O<sub>U</sub> - образование исходной формы радиальным выдавливанием из «стакана»; T - обратное выдавливание стержня с утолщением; O<sub>T</sub> - образование исходной формы радиальным выдавливанием из стержня с утолщением; 1 – сплошной пуансон; 2 – полый пуансон; 3 – Матрица; 4 – заготовка; 5 – фасонный пуансон; P<sub>1</sub> – P<sub>3</sub> – силы выдавливания на разных стадиях; p<sub>n</sub> - сила противодействия (0 ≤ P<sub>n</sub> < P<sub>2</sub>, 0 ≤ P<sub>n</sub> < P<sub>3</sub>); D, d – диаметры пуансонов; v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>, v<sub>3</sub> – скорости движения инструментов

На основе схемы представленной на рисунке 1 сформирован ряд технологически возможных вариантов ИПД многократным выдавливанием:

1. A+U<sub>1</sub>→O<sub>к</sub>
2. A+T<sub>1</sub>→O<sub>к</sub>
3. A+U<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+T<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>
4. A+T<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+U<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>
5. A+U<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+K+U<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>
6. A+T<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+K+T<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>
7. A+U<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+K+T<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>
8. A+T<sub>1</sub>+O<sub>1</sub>+K+U<sub>2</sub>→O<sub>к</sub>,

где K – кантовка полуфабриката перед выдавливанием, O<sub>к</sub> – окончательный возврат формы полуфабриката к исходной

K числу основных факторов влияющих на надежность процесса и формирование однородного деформированного, а соответственно и структурного состояния [4] металла полуфабриката O<sub>к</sub> относятся технологическая схема ИПД и геометрические параметры инструмента и заготовки.

Для оценки влияния геометрических параметров инструмента и определения рациональных режимов процесса ИПД многократным выдавливанием было проведено моделирование при варьировании следующих параметров:

- радиусов скругления сплошного и полого пуансонов;
- геометрии кромок матрицы и полого пуансона;

- масштабного фактора, путем пропорционального увеличения заготовки, оснастки и параметров оборудования.

Исследование проводилось посредством моделирования различных вариантов в программном комплексе QForm 2D. Параметры моделирования представлены в таблице 1. Для удобства сравнения полученных результатов шкала пластической деформации при различных вариантах выдавливания одинаковая и имеет градацию от 0 до 20 (рисунок 2)

Таблица 1 Исходные параметры моделирования при ИПД выдавливании

Материал заготовки	Начальная температура заготовки, С°	Начальная температура инструмента, С°	Смазка	Скорость деформирования, мм/с
BT-8	650	650	Жидкое стекло	1

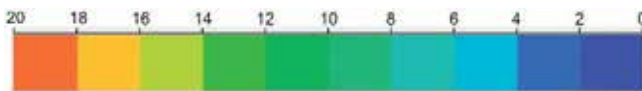


Рисунок 2 Шкала пластической деформации

Рациональные параметры кромок матрицы и пуансона (рисунок 8) были определены посредством моделирования при варьировании согласно данных таблицы 2.

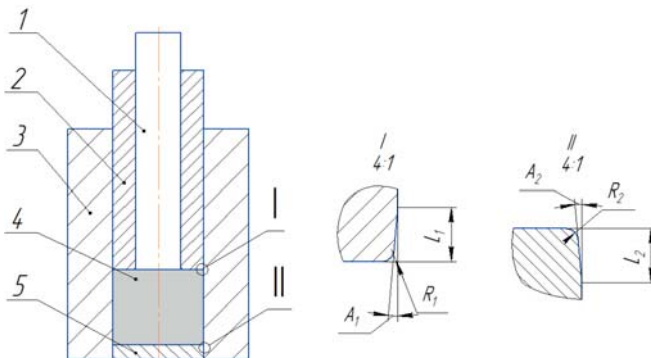


Рисунок 8 Геометрические параметры кромок матрицы и пуансона, где  $R_1$  – радиус скругления полого пуансона,  $R_2$  – Радиус скругления матрицы;  $L_1$  – длина уклона на полом пуансоне;  $L_2$  – длина уклона на матрице;  $A_1$  – угол наклона уклона на полом пуансоне;  $A_2$  – угол наклона уклона на матрице; 1 – сплошной пуансон; 2 – полый пуансон; 3 – Матрица; 4 – заготовка; 5 – фасонный пуансон;

Таблица 2 Варианты значений параметров кромок матрицы и полого пуансона

№ варианта	R <sub>1</sub> , мм	R <sub>2</sub> , мм	L <sub>1</sub> , мм	L <sub>2</sub> , мм	A <sub>1</sub> , град.	A <sub>2</sub> , град.
1	1	1	1,5	1,5	10	10
2	1	1	2,5	2,5	10	10
3	1	1	3,5	3,5	10	10
4	1	1	4,5	4,5	10	10
5	0,5	0,5	1,5	1,5	10	10
6	0,5	0,5	2,5	2,5	10	10
7	0,5	0,5	3,5	3,5	10	10
8	0,5	0,5	4,5	4,5	10	10
9	1	1	1,5	1,5	5	5
10	1	1	2,5	2,5	5	5
11	1	1	3,5	3,5	5	5
12	1	1	4,5	4,5	5	5

Исходя из результатов моделирования можно сделать заключение о целесообразности использования следующих параметров кромок матрицы и полого пуансона с  $L_1, L_2$  не менее 1мм и не более 2,5мм, угла  $A$  не более  $5-7,5^\circ$  значения  $R_{не}$  более 1 из-за возможности увеличения зажима при большем значении данных параметров (рисунок 9).

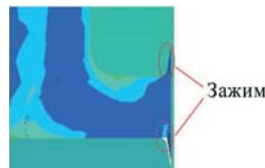


Рисунок 9 Проявление зажима при деформировании

Масштабный фактор, т.е. пропорциональное увеличение размеров заготовки и параметров ИПД слабо влияет на интенсивность пластической деформации и ее распределение. Выявленные незначительные отличия (рисунок 10) связаны с уменьшением влияния трения.

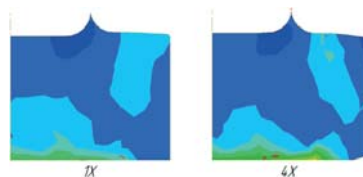


Рисунок 10 Изменение интенсивности и распределения пластической деформации при пропорциональном увеличении заготовки и параметров ИПД в четыре раза (4X)

**Выводы:**

1. Определены факторы влияющие на силу деформирования, интенсивность пластической деформации и ее распределение при ИПД многократным выдавливанием.

2. Даны рекомендации по выбору рациональных параметров процесса ИПД многократным выдавливанием.

**Литература**

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М, Металлургия, 1979, 495с.

2. Andreev, A.P., Shibakov, V.G., Pankratov, D.L., Andreeva, S.I. Prediction of samples failure during severe plastic deformation by multiple extrusion - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 86, Number 1, 2015, pp.12032-12036(5)

3. Патент №2189883 РФ, МКИ 7 В 21 J 5/00, 13/02, С 21 D 7/02. Способ пластического структурообразования металлов при интенсивной пластической деформации и устройство для его осуществления.

## ***СЕКЦИЯ № 2***

### **«Инновационные разработки и экономика в машиностроении»**

#### **Модераторы:**

**Кашапов Наиль Фаикович** – проректор по инженерной деятельности КФУ, к.ф-м.н, д.т.н., проф., членкор АН РТ и Российской академии инженерных наук, заслуженный изобретатель РТ,

**Гильманшин Искандер Рафаилович** - директор комплексного центра обучения в сфере энергоэффективности КФУ, к.т.н.



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ, КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ИМУЩЕСТВЕННОГО ФОНДА И ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Азимов Юсуф Исагилович, Гильманшин Искандер Рафаилович  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, 18

Аннотация.

Представлен подход к математическому моделированию технологических процессов выработки, производства и потребления теплоэнергоресурсов на объектах имущественного фонда и инженерных сетях, определяющий информационное обеспечение системного анализа кинетического изменения термодинамических параметров последовательно протекающих теплофизических процессов в потоках теплоносителя в замкнутых структурах теплосетей энергопотребления работающих в режиме рецикла теплового потока. Определяется возможность постановки и решение задачи энергоресурсосбережения на объектах теплообеспечения в замкнутых сетях энергопотребления, работающих в режиме флуктуации температурных параметров окружающей среды.

Ключевые слова:

Энергосбережение, энергоэффективность, управление, моделирование процессов энергоснабжения.

Annotation:

The approach to the mathematical modeling of technological processes of production, manufacture and consumption energyresources on the property fund facilities and engineering networks is presented. This approach is defining the information support system analysis of the kinetic changes of thermodynamic parameters sequentially occurring thermal processes in the flows of heat transfer agent in a closed structures of heating energy working in the recycle mode of the heat flow. It is determined the possibility of setting and solving problems of energyefficiency on the objects with close cycle operating and working in the fluctuation mode of the environmental parameters.

Keywords:

Energy conservation, energy efficiency, management of modeling of powersupply processes.

Технологические сетевые процессы теплоэнергообеспечения объектов имущественного фонда представляющие собой многоэтапные динамические системы тепловых потоков в сетевых структурах теплопотребления, сопровождаемые кинетическим изменением термодинамических параметров теплоносителя, изменение теплового потенциала в замкнутых цепях обратного теплоснабжения математическая модель записывается в виде рекуррентной

системы дифференциальных уравнений, определяющих изменение термодинамического потенциала тепловой энергии в сетях теплообеспечения.

Локальная идентификация уравнений модели определяет условие высокой достоверности информационного обеспечения разработки систем управления процессами теплоэнергообеспечения на объектах потребления.

Математическое моделирование технологических процессов энергообеспечения объектов имущественного фонда и инженерных сетей предприятий определяет возможность решения задачи энергоресурсосбережения, оптимизации режимов энергопотребления, обеспечения санитарно-гигиенических нормативов в помещениях в условиях флуктуации температурных параметров окружающей среды.

Реализуется системный информационный подход в решении задачи эффективного использования топливных ресурсов в условиях стабилизации режимов энергообеспечения на объектах энергопотребления.

Информационный подход процедуры математического моделирования может быть представлен путем записи балансовых уравнений динамики изменения термодинамических параметров тепловых сетей.

Задача управления интенсивностью энергопроизводства в условиях оптимального энергообеспечения потребителей записывается системой дифференциальных уравнений кинетического изменения, определяющих параметров теплоносителя в структурной цепи технического оборудования в теплопроизводстве, распределения и потребления тепловой энергии с обеспечением санитарно-гигиенических тепловых режимов в помещениях.

Интенсивность накопления теплового потенциала определяется соотношением:

$$Q = \int_{t_0}^{\tau_k} m_{i,j} \cdot I(\tau) d\tau \quad (1)$$

где  $m_{i,j}$  - интенсивность протока теплоносителя ( $\text{м}^3/\text{час}$ );  $I(\tau)$  – энтальпия теплоагента ( $\text{кДж}/\text{м}^3$ ); здесь  $I(\tau) = c_v \cdot t(\tau)$ ;  $c_v$  – объемная теплоемкость теплоносителя;  $t(\tau)$  – температура теплоносителя ( $^{\circ}\text{K}$ ).

В данной задаче состояние объекта управления рассматривается как многомерная, векторная переменная изменения энергетического потенциала потока теплоносителя  $Q$  ( $\text{кДж}$ ), компонентами которой определены параметрические показатели, такие как объемный расход теплоносителя  $m$  ( $\text{м}^3/\text{час}$ ), а так же термодинамическая температура  $T$  ( $\text{K}$ ).

Векторное состояние объекта управления в виде сетевой системы энергообеспечения на объектах имущественного фонда и инженерных сетей предприятий и в частности, объектов ЖКХ определяется изменением величины теплового потенциала теплоносителя  $Q$  в непрерывном потоке в некотором диапазоне значений или конечное множество значений.

Переменным параметром технологического процесса теплообеспечения следует определить такой текущий показатель, как температура теплоносителя  $t_i$  на  $i$  – ом участке сети потребления, тогда как такой показатель как объемный расход теплоносителя на соответствующих участках сети энергопотребления следует определять как заданная и постоянная величина  $m_i$

В обобщенной форме математическая модель тепловых сетей теплопроизводства и теплообеспечения записывается в виде совокупности рекуррентных дифференциальных уравнений динамического изменения энергетического потенциала потока теплоносителя, оцениваемому по показателю тепловой энергии как температуре теплоносителя. Данный подход определяет возможность разработки системы оптимального управления объектами энергопотребления основанной на принципах системного анализа термодинамического состояния потока на отдельных этапах и участках сетевой структуры его функционирования и регулирования по параметрическим показателям обратной связи.

Структурная схема тепловых теплоэнергетических сетей теплообеспечения на объектах имущественного фонда и инженерных сетей предприятий, представленная на рис.1, определяет решение задачи минимизации потребления тепловой энергии в условиях обеспечения нормативных режимов функционирования объекта по температурным показателям.

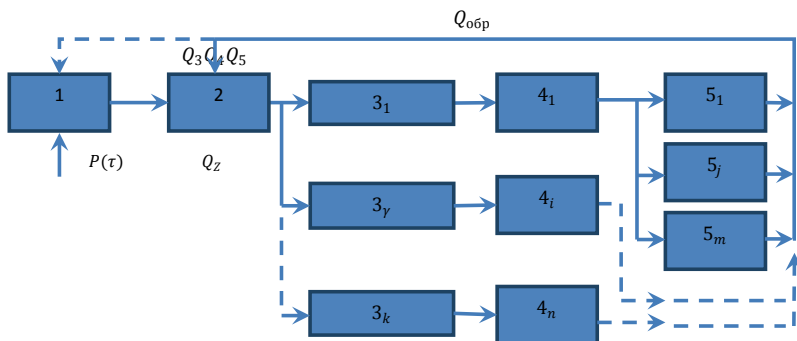


Рис.1 Структурная схема теплоэнергообеспечения в сетях потребления:  $G$  - теплоагент (природный газ, перегретый пар);  $Q_{ij}$  - тепловой поток;  $Q_{обр}$ -обратный поток теплоносителя;  $P(\tau)$ -расход теплоагента; 1. котел теплопроизводства; 2. бойлерная отработка тепловых режимов теплоносителя; 3. трубопровод подвода теплоносителя; 4. узловые объекты теплопотребления; 5. локальные теплопотребители.

Балансовое соотношение импульса теплоэнергопотока в соответствии с представленной на рис. 1 технологической структурной схемой теплоэнергообеспечения в сетях потребления записывается в обобщенной форме в виде совокупности рекуррентных соотношений мгновенного изменения теплосодержания теплового потока в системе замкнутого циклического обратного теплоэнергообеспечения соотношением:

$$\Delta Q_1 = \left( (\Delta Q_2 + \Delta Q_\Sigma) - \sum_{\gamma=1}^k \Delta Q_\gamma \right) - \sum_{\gamma=1}^k \sum_{i=1}^n \Delta Q_{ij} - \sum_{\gamma=1}^k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta Q_{\gamma ij} \quad (3)$$

где:  $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \Delta Q_\Sigma, \Delta Q_\gamma, \Delta Q_{ij}, \Delta Q_{\gamma ij}$ , соответственно импульсы потока энергии образования в котельной, выработки в бойлере, поток теплоносителя в обратной линии, интенсивность теплопотерь на-ом сетевом трубопроводе,

снижение тепловой нагрузки на  $\gamma i$ -ом узловом участке теплопотребления, на  $\gamma ij$ -ом локальном участке теплопотребления.

Обобщенное рекуррентное уравнение моделирования технологического процесса теплообмена в структурной системе теплообеспечения потребителей сложных узловых объектов имущественного фонда и инженерных сетей является рекуррентное соотношение записанное в виде совокупности исходных уравнений:

$$\begin{aligned}
 Q_1(\tau) &= \mu \int_{\tau_0}^{\tau} P(\tau) \Delta H d\tau \rightarrow \min \\
 \Rightarrow \int_{\tau_0}^{\tau} m_{\tau}(\tau) \cdot c_v \cdot t_2(\tau) d\tau &- \sum_{\gamma=1}^k \int_{\tau_0}^{\tau} \int_{L=0}^{L_{\gamma}} K_{\gamma} \cdot f_{\gamma} \cdot (t_{\gamma}(\tau) - Q(\tau)) dL \cdot d\tau \\
 &- \sum_{\gamma=1}^k \sum_{i=1}^n \int \Delta Q_{\gamma i}(\tau) d\tau \\
 &- \sum_{\gamma=1}^k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \int_0^{\tau} V_{\gamma ji} \cdot c_v'' d\tau - \int_0^{\tau} Z_{\gamma ji} \cdot S_{\gamma ji} \cdot (T_{\gamma ji}(\tau) - U(\tau)) d\tau \right]
 \end{aligned}$$

Идентификация обобщенного соотношения проводится по параметрическим показателям изменения величины теплового потока в локальных точках узла потребления.

Записанная математическая модель технологического процесса выработки и потребления теплоэнергетических ресурсов на объектах имущественного фонда в виде рекуррентного соотношения определяет возможности постановки и решения ряда задач управления:

- обеспечивается глубокая проработка информационного обеспечения по всем параметрическим показателям как по всем локальным точкам анализа так и совокупной системе в целом.

- определяется возможность оценки всех локальных участков и структуры в целом в параметрических показателях потребления и потерь. Решается задача ликвидации узких мест.

- заложена теоретическая и практическая база разработки и внедрения АСУ-ТП работающая в режиме обеспечения потребителей нормативными санитарно-гигиеническими условиями жизнеобеспечения минимизация энергоресурсосбережения, энергопотери, минимизации платежей потребителями за услуги энергетиков.

- представленный подход к моделированию процессов использования и потребления материальных и энергетических ресурсов в производственных системах можно рассматривать как возможность глубокого уровня информационного обеспечения в разработке системы оптимального управления.

## Литература

1. Азимов Ю.И. Сетевое моделирование процесса производства удобрений сельскохозяйственных предприятий Азимов Ю.И., Савдур С.Н., Кирпичников А.П., Костромин А.В. //Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 12. С. 122-124.

2. Азимов Ю.И. Моделирование технологического процесса биохимической очистки сточных вод полимерной промышленности Азимов Ю.И., Савдур С.Н., Мухаметгалеев Д.М. //В книге: Теоретические основы формирования промышленной политики Адова И.Б., Азимов Ю.И., Алетдинова А.А., Асаул А.Н., Борисов А.А., Бабкин А.В., Васильев Ю.С., Вертакова Ю.В., Гладышева И.В., Глухов В.В., Греченюк А.В., Греченюк О.Н., Бабкин И.А., Злышко О.В., Комаров И.И., Краснюк Л.В., Кремлёва Н.А., Кузьмина С.Н., Курчеева Г.И., Малюк В.И. и др. Санкт-Петербург, 2015. С. 378-397.

3. Басыров И. Р. Расширение сетей Петри, проблемно - ориентированное на моделирование многоассортиментных производственных систем / И. Р. Басыров // Ученые записки КФЭИ: сб. науч. трудов. Вып. 16. – Казань: КФЭИ, 2001. – С.177 – 182.

4. Гильманшин И.Р. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: построение комплекса централизованной автоматизированной системы сбора, контроля и анализа бытового потребления энергоносителей Гильманшин И.Р., Ференец А.В. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 9-10. С. 82-88.

УДК 629.373

### **БЕСПИЛОТНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ПЛАТФОРМА СО СМЕЩАЕМЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ**

Андрианов Д.Ю.

*Поволжский государственный технологический университет,  
Институт механики и машиностроения.*

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.

**Аннотация:** в данной работе представлена принципиальная схема разработки беспилотной транспортной платформы со смещенным центром тяжести, защищенная патентом Российской Федерации на полезную модель.

**Abstract:** the schematic diagram of transport platform with the displaced center of gravity presented in the paper materials. Transport platform with the displaced center of gravity patented as a utility model of Russian Federation.

**Ключевые слова:** транспорт, платформа, снегоход, опорно-поворотное устройство, система управления.

Современные тенденции развития транспортного комплекса требуют новых решений для выполнения задач стоящих перед экономикой страны и ее обороноспособности.

Прогноз научно-технологического развития России до 2030 [1] года предусматривает дальнейшее развитие новых транспортных систем на основе обеспечения безопасности и экологичности, а также развитие новых интеллектуальных технологий. Особое место отводится изучению транспортных ситуации в арктической и субарктической зонах, а также перспективных технических решений управления и логистики на транспорте.

Предлагаемая нами беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести относится к системам управления транспортными средствами, в частности к системам управления устойчивостью беспилотной платформы.

Известно вездеходное транспортное средство со смещаемым центром тяжести (Пат. RU 2381941)[2], содержащее средство стабилизации кузова, обеспечивающее смещение центра тяжести относительно горизонтальной оси посредством двух или более домкратов шарнирно установленного кузова с кабиной. Недостатком известной конструкции является её сложность.

Известна транспортная платформа со смещаемым центром тяжести (Пат. ЕР 1703353)[3], содержащая систему обеспечения устойчивости, выполненную в виде двух выдвжных роликовых опор. Недостатком известной конструкции является её сложность.

Технический результат нашей модели – это упрощение конструкции.

Указанный технический результат достигается тем, что беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести, несущая полезную нагрузку, содержит систему обеспечения устойчивости, представляющая собой несущее опорно-поворотное устройство, с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно вертикальной оси транспортной платформы, посредством кинематических связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота.

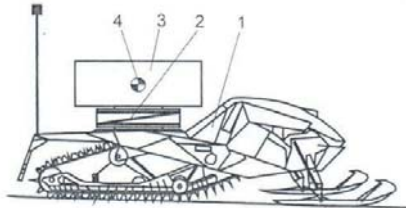


Рис 1. Беспилотная снегоходная транспортная платформа

Сущность предлагаемой нами модели поясняется следующими рисунками: на рис. 1 изображена беспилотная снегоходная транспортная платформа, перемещающаяся по горизонтальной поверхности; на рис. 2 транспортная

платформа перемещается по наклонной поверхности; на рис. 3 транспортная платформа перемещается по наклонными поверхностями, вид сзади.

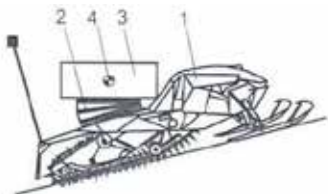


Рис. 2

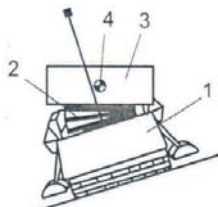


Рис. 3

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 содержит опорно-поворотное устройство 2, несущее полезную нагрузку 3 с центром тяжести 4. Опорно-поворотное устройство 2 выполнено в виде кинематических, связанных между собой двух приводных скошенных колец 5 и 6, с возможностью их относительного поворота.

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 может эффективно перемещаться вдоль и поперек наклонной поверхности за счет смещаемого центра тяжести 4 полезной нагрузки 3 посредством опорно-поворотного устройства 2. Смещение центра тяжести 4 происходит за счет изменения угла наклона площадки с полезной нагрузкой 3, который определяется суммированием углов наклона приводных скошенных колец 5 и 6 при относительном повороте.

Беспилотная снегоходная транспортная платформа обладает повышенной устойчивости при движении по пересеченной местности благодаря простому по конструкции опорно-поворотному устройству, обеспечивающему смещение центра тяжести полезной нагрузки (рис.4).

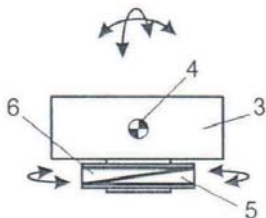


Рис. 4 Опорно-поворотное устройство.

Вывод: Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести, несущая полезную нагрузку и содержащая систему обеспечения устойчивости, отличающаяся тем, что система обеспечения устойчивости представляет собой несущее полезную нагрузку опорно-поворотное устройство с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно вертикальной оси транспортной платформы

посредством кинематически связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота, решает многие задачи безопасности и риска человека в экстремальных условиях и может быть полезна в решениях различных задач оборонах и в жизни обеспечения.

### Литература

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Транспортные и космические системы/под редакцией М.Я. Блинкина, Л.М. Гохберга. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014 г. – 40с.
2. Вездеходное транспортное средство со смещенным центром тяжести (Патент RU 2381941).
3. Транспортная платформа со смещенным центром тяжести (Патент EP 1703353).

## РАЗРАБОТКА МАСЛООТДЕЛИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ КАРТЕРА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Андриянов С.М., аспирант 2 года обучения

Хабибуллин Р.Г., д.т.н (профессор) зав. каф. сервиса транспортных систем  
Набережночелнинский институт (филиал) КФУ, Набережные Челны, Россия

Куликов А.С., главный конструктор по двигателям ПАО «КАМАЗ»  
Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются актуальные на сегодняшний день проблемы связанные с системой вентиляции картера (СВК) дизельных двигателей. Выделяются и описываются основные проблемы, а также пути их решения. Представлены основные источники образования картерных газов дизельного двигателя. Приведены основные критерии количественной оценки состояния и работы системы вентиляции картера. Особое внимание уделяется основному элементу системы вентиляции картера дизеля – маслоотделителю. Представлены данные по результатам стендовых моторных испытаний опытного маслоотделителя (открытой СВК), с установкой вместе с серийной СВК двигателя КАМАЗ 740.50-360, на режиме номинальной мощности. По результатам испытаний была получена высокая эффективность открытой СВК двигателя КАМАЗ.

**Annotation.** This article discusses relevant today, the problems associated with the crankcase ventilation system (CRS) diesel engines. Are described main problems and ways of their solution. Presents the basic sources of formation of blow-by gas of the diesel engine. The basic criteria for quantitative assessment of the condition and operation of the crankcase ventilation system. Special attention is given to the main element of the system of crankcase ventilation of diesel – oil separator. Presents data



on the results of bench motor tests of the experimental oil separator (open CRS), with the installation with a serial JMC of the engine KAMAZ 740.50-360, the rated power mode. According to the results of the test was obtained high efficiency open JMC engine KAMAZ.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, система вентиляции картера, маслоотделитель, эффективность.

**Введение.** Технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации вредных (загрязняющих) веществ» [1] требует выполнение Правил Российскими производителями дизелей, в частности, для большегрузных автомобилей КАМАЗ.

Подобные регламенты и правила влияют на общие характеристики самих дизелей, требуют введения новых конструктивных элементов, реализующих тот или иной способ снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей. Последнее касается и систем вентиляции картерных газов.

### Основные процессы в системе вентиляции картера

СВК и картерное пространство (КП) в двигателе взаимосвязаны. В КП картерные газы (КГ) собираются и в виду имеющихся процессов неизбежно смешиваются с маслом. Выход из КП является входом в СВК. КП – объём пространства внутри двигателя, ограниченный внутренними поверхностями деталей двигателя. Правильно сформированное и организованное КП значительно снижает нагруженность СВК. СВК может представлять собой совокупность элементов для: приёма КГ, маслоотделения, слива осаждённого масла в картер двигателя, отвода отсепарированных КГ.

Условия образования КГ и достижения ими входа СВК во многом определяют дальнейшие процессы и явления, которые происходят непосредственно в самой системе.

Источники образования КГ (схематично представлены на рис. 1):

- а) прорыв рабочего тела через уплотнение между поршнем и гильзой цилиндра (прорыв первого вида);
- б) прорыв отработавших газов и свежего заряда через уплотнение и сопряжение клапанов (прорыв второго вида);
- в) прорыв отработавших газов через уплотнение ротора турбокомпрессора (прорыв третьего вида).



Рисунок 1 – Схематичное представление образования и движения КГ

### Оценка состояния и работы СВК

Основные критерии количественной оценки состояния и работы СВК [2]:

1. Расход подаваемого масла непосредственно в СВК (определяется косвенным методом, как сумма расходов унесенного и осажденного масла в системе):

$$G_n = G_y + G_o = \frac{m_y}{t} + \frac{m_o}{t} = \frac{m_y + m_o}{t}, \quad (1)$$

где  $G_y$ ,  $G_o$  – расход унесенного и осажденного масла в маслоотделителе (гр./мин);

$m_n$ ,  $m_o$  и  $m_y$  – массы подаваемого (в подаваемой смеси на входе в маслоотделитель), отделенного (сливаемого из маслоотделителя) и унесенного (осевшего в фильтре) масла за фактическое время измерений (гр.):

$$m_n = m_o + m_y, \quad (2)$$

$t$  – фактическое время измерения (мин).

2. Относительное содержание масла в КГ (нагруженность СВК):

$$a = \frac{G_n}{G}, \text{ (гр./л)} \quad (3)$$

где,  $G$  – расход КГ.

3. Эффективность СВК:

$$E = \frac{m_o}{m_y + m_o} * 100 = \frac{m_o}{m_n} * 100, \% \quad (4)$$

Нужно отметить, что существенную роль в работе системы вентиляции картера играет такой ее элемент, как маслоотделитель. Был разработан опытный маслоотделитель для модернизации, существующей СВК серийных двигателей КАМАЗ. Основной отличительной особенностью разработанного маслоотделителя от хорошо известных импортных аналогов является отсутствие сменных фильтрующих элементов, которые требуют своевременной замены, что позволяет разработать полностью не обслуживаемый маслоотделитель до капитального ремонта двигателя. Небольшие габаритные размеры позволяют упростить компоновочные работы в составе автомобиля. Общий вид опытного маслоотделителя представлен на рис. 2.



Рисунок 2 – Опытный маслоотделитель СВК

### Стендовые моторные испытания маслоотделителя открытой СВК

Были проведены стендовые моторные испытания опытного маслоотделителя (открытой системы вентиляции картера), с установкой совместно с серийной системой вентиляции картера двигателя КАМАЗ 740.50-360.

Результаты испытаний системы вентиляции картера при работе на режиме номинальной мощности приведены в таблице 1. Количество отделенного масла было определено по формуле (1), а эффективность маслоотделителя была рассчитана по формуле (4).

Таблица 1 – Характеристика маслоотделителя при моторных испытаниях по результатам исследований НТЦ ПАО КАМАЗ:

Расход картерных газов, л/мин.	Попадаемое масло в опытный маслоотделитель, гр./10 мин	Эффективность маслоотделителя, %	Унос масла, гр./10 мин	Давление картерных газов, мм вод ст.
120	0	99,99	0	20...22
160	0	99,99	0	30...33
200	2,25	99,99	0	38...40
250	4,85	99,99	0	53...54
300	6,9	99,99	0	73...75
350	8	98,8	0,1	100...102
400	49,4	99,9	0,05	135...145

### Заключение

Существенную роль в работе СВК играет такой ее элемент, как маслоотделитель. При этом современные тенденции форсирования двигателей, увеличивается доля мелкодисперсных капель моторного масла в картерных газах, что может привести к необходимости применения маслоотделителей со сменными фильтрующими элементами.

В результате проведенных испытаний установлено, что предел работоспособности опытного маслоотделителя с наименьшей эффективностью (не ниже 98,8 %) определен значениями расхода картерных газов 350 л/мин. При этом расход подаваемого масла за время измерения 10 минут составил 8 грамм. Максимальное давление картерной полости двигателя при расходе картерных газов 400 л/мин составило 145 мм вод. ст. (1,45 кПа).

### Библиографический список

1. Технический регламент "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ". Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005г. №609.

2. Андриянов С.М. *Разработка методики проведения испытаний системы вентиляции картера дизелей для формирования требований к ней* [Статья из сборника] «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2015» В 2-х ч. Часть 1. / Модератор: Н.Ф. Кашапов – Казань: Фолиант, 2015, 247-251 с.

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

Ахметова Римма Валентиновна, ст. преподаватель  
Таймаров Михаил Александрович, д-р. техн. н, профессор,  
Ахметов Эдуард Адгамович, к.т.н., доцент  
Казанский государственный энергетический университет  
г. Казань, ул. Красносельская, 51

### АННОТАЦИЯ:

В статье приведены результаты исследований влияния типа форсунок на эффективность сжигания мазута в топке парового котла.

In article results of research of influence of nozzle type on the efficiency of fuel oil combustion in the furnace boiler.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Котел, горелка, форсунка, мазут, горение

**Актуальность проблемы.** В настоящее время мазут продолжает использоваться в качестве котельного топлива на электростанциях и в котельных России. Основным топливом для большинства ТЭС является газ, но удешевление мазута повысило его привлекательность как основного котельного топлива.

Сжигание мазута в топках котлов характеризуется рядом особенностей: подогревом мазута до температуры порядка 90 °С перед сжиганием, повышением температуры подогрева воздуха за счет включения калориферов перед основными воздухоподогревателями, понижением температуры продуктов сгорания вверху топки, поддержанием более высоких температур уходящих после дымососа газов в пределах около 130...140 °С, более высокими выбросами в атмосферу оксидов азота. В данной статье исследуется влияния применяемого типа форсунок на эффективность сжигания мазута в топке парового котла.

**Описание объекта исследования.** Для исследования эффективности сжигания мазута взята горелка ГМУ-45 производства ТКЗ для котла ТГМ-84Б (рис. 1). Недостаток этой горелки – центральная раздача газа. Преимущество – наличие регистра центральной изменяемой (поз. 8 рис. 1.) и осевой (поз. 7 рис.1.) крутки воздуха.

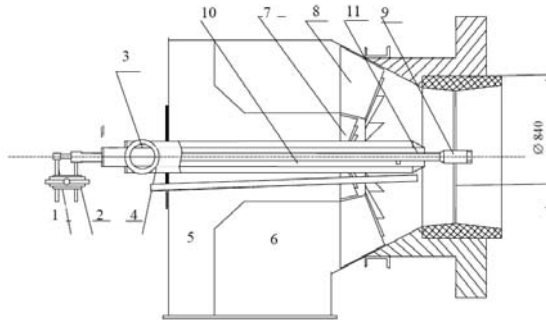


Рис. 1. Горелка газомазутная котла ТГМ-84Б:

1 – подача мазута; 2 – подача пара; 3 – подача газа; 4 – электрический запальник; 5 – подача воздуха в центральный короб; 6 – подача воздуха в наружный короб; 7 – лопатки осевого завихрителя; 8 – лопатки тангенциального завихрителя; 9 – форсунка; 10 – труба форсунки; 11 – газоподающая центральная труба.

Ствол форсунки задвигается вместе с посадкой в центральную трубу горелки. Исследования по падающим потокам проводились с использованием механической форсунки, паромеханической форсунки ФУЗ-5000 и форсунки производства КГЭУ.

Мазут под большим давлением подается в форсунку через ствол и распыляется через тангенциальные каналы.

Пароакустические (ультразвуковые) форсунки "Факел" (ФУЗ) предназначены для экономичного и низкотоксичного сжигания жидкого топлива в составе горелок энергетических котлов, для розжига и подсвечивания в пылеугольных котлах, с диапазоном регулирования расхода от 20...100 процентов. Форсунки выпускаются в двух исполнениях: короткофакельные «Факел» и длиннофакельные «Факел-Д».

Общий вид форсунки «Факел» приведён на рис. 2. Форсунки на расходы от 500 кг/час и выше в настоящее время работают на ряде ТЭЦ России: Воркутинские ТЭЦ, Заинской ГРЭС, Красноярские ТЭЦ, Рефтинской ГРЭС, Экибастузская ГРЭС, Камчатские ТЭЦ, Хабаровской ТЭЦ-3 и др. Форсунки используются при работе на мазуте, для розжига и подсветки пылеугольных котлов. ОАО «Генерирующая компания» и многие промышленные предприятия республики Татарстан для сжигания мазута используют только пароакустические форсунки «Факел».

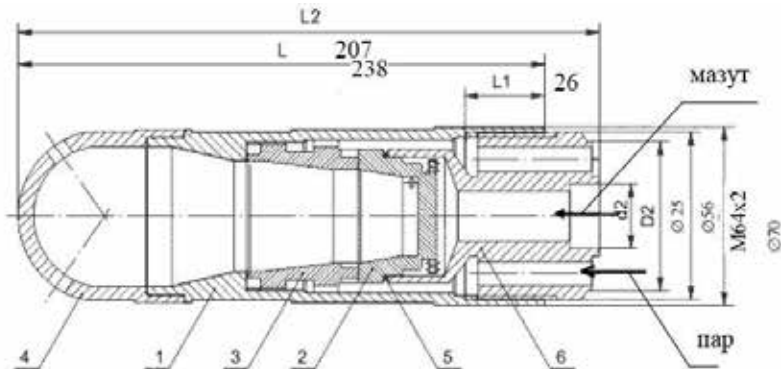


Рис. 2. Форсунка «Факел»:  
корпус (1), топливный завихритель (2), паровой излучатель (3), сопло (4),  
медная прокладка (5), основание (6)

В головке реализован комбинированный способ распыливания топлива, совмещающий использование эффекта закрученной струи жидкости, кинетической энергии вихревого потока распылителя и акустических колебаний среды.

Форсунки рассчитаны для топочных мазутов ГОСТ 10585-75 при вязкости топлива не более 10 ВУ ГОСТ 6258-52, на расходы топлива 0,1 - 9,0 т/ч. Давление топлива перед форсункой рекомендуется поддерживать не менее 3 атм, пара - не менее 5 атм. Удельный расход пара на распыление составляет не более 0,06 кг/кг. Производительность форсунок определяется по таблице 1.

Форсунка содержит встроенный фильтр очистки мазута, не требует специальной тарировки на стенде. Тарировочные характеристики, техническое руководство по монтажу и эксплуатации и переходные детали для монтажа входят в комплект поставки. Для более надёжной работы форсунок топливо должно быть профильтровано с помощью фильтров с ячейками не более 1,0x1,0 мм.

К недостаткам известной форсунки «Факел» можно отнести следующее:

1. Невозможность поддержания постоянного угла распыливания топлива при регулировании зазора между корпусом и распыливающей насадкой, что вызывает ухудшение условий сжигания топлива;

2. Закоксование форсунки «Факел» при длительной работе.

Указанные недостатки устранены в форсунке, предлагаемой в настоящей работе (рис. 3). Данная форсунка направлена на решение задачи унификации присоединения штуцеров форсунки к существующим на котлах конструкциям трубопроводов подвода топлива и повышения эффективности сжигания топлива при смене режимов работы форсунки. Мазут под большим давлением подается в форсунку через ствол и распыляется через тангенциальные каналы.

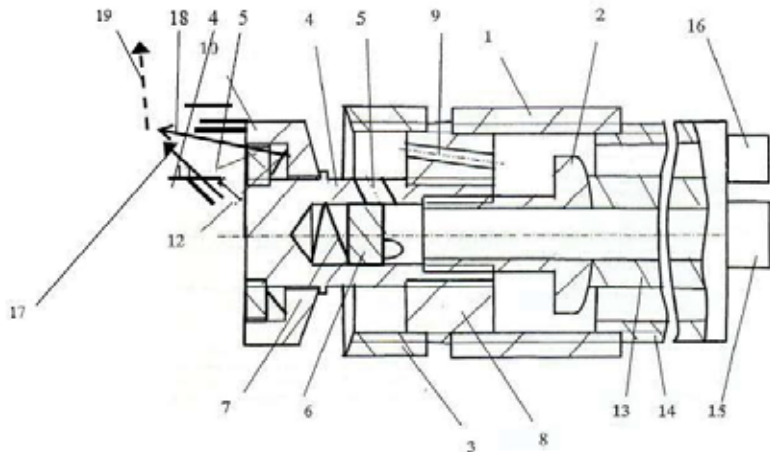


Рис. 3. Паромеханическая насадка для сжигания мазута  
 1-крепежная обойма, 2-штуцер для подвода топлива, 3-регулирующая  
 втулка, 4-сопло, 5- отверстия для подвода топлива, 6-плунжер, 7-осевая  
 тарированная пружина, 8-шайба, 9 – отверстия для подвода распылителя,  
 10 –распыливающий насадок, 11-стопорная гайка, 12- торцевая  
 тарированная пружина, 13- центральная стволовая труба для подачи топлива,  
 14- наружная стволовая труба, 15 - штуцер стволовой трубы для подачи  
 топлива, 16 – штуцер стволовой трубы для подачи распылителя; 17 – мазут; 18  
 – пар; 19 – первично распыленная струя мазута с паром.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При сжигании мазута через механические форсунки максимальное значение падающих потоков достигалось на отметке 11,2 метра в сечении 1 левого бока котла, значение  $q$  достигало  $238 \text{ кВт/м}^2$ .

Сжигая мазут через форсунки ФУЗ-5000 значение падающих потоков достигало  $555 \text{ кВт/м}^2$  на отметке 6,6 метра в сечении 1 правого бока котла, (сильное свечение факела).

Суммарное значение падающих потоков при сжигании мазута через форсунки ФУЗ-5000 ( $D_k 405 \text{ т/ч}$ ) в 2 раза выше, чем при сжигании мазута через механические форсунки ( $D_k 360 \text{ т/ч}$ ), табл. 1.

При переводе горелок № 1 и № 4 на мазут при  $D_k 300 \text{ т/ч}$  с использованием форсунок КГЭУ суммарное значение падающих потоков на 5 % выше, чем при сжигании газа с  $D_k 355 \text{ т/ч}$ , табл. 1.

Таблица 1. Значение падающих потоков на котле ТГМ-84Б при сжигании газа, мазута через различные форсунки

Место отбора падающих потоков	Значение падающих потоков, кВт/м <sup>2</sup>			
	Газ все горелки 355 т/ч	Мазут во всех горелках Механические 360 т/ч	Мазут во всех горелках ФУЗ-5000 405 т/ч	Мазут в горелках № 1, 4 (форсунки КГЭУ) Газ – остальные 300 т/ч
Лючок № 1-а	215,3	125,7	334,7	137,2
Лючок № 1-б	167,1	77,52	364,5	139,5
Горелка № 1	123,4	-	-	167,1
Горелка № 3	164,8	-	-	-
Горелка № 2	137,2	-	-	-
Горелка № 4	132,6	-	-	279,6
Лючок № 4-а	174	151	199,2	203,8
Лючок № 4-б	196,9	130,3	555,1	408,2
Лючок № 5	247,4	238,2	334,7	151
Лючок № 6	105,1	54,56	77,5	43,1
Горелка № 5	153,3	-	-	139,5
Горелка № 6	171,7	-	-	208,4
Лючок № 11	50	59,15	86,7	33,89
Лючок № 12	242,8	146,4	330,1	270,4
Лючок № 13	91,3	52,26	75,22	61,4
Лючок № 14	91,3	47,67	22,3	56,85
Суммарное значение падающих потоков	2514	1142	2467	2334

На рис. 4-5 представлены значения падающих потоков для различных сечений левого и правого бока котла.



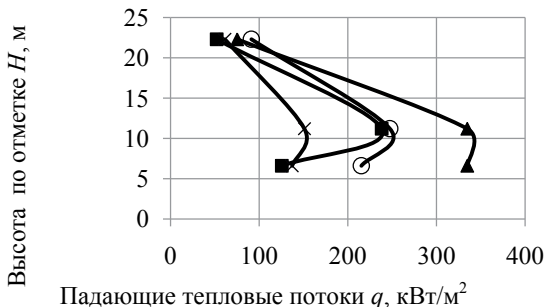


Рис. 4. Падающие тепловые потоки в сечении 1, левый бок котла:

- - при  $D_k$  355 т/ч, топливо газ все горелки;
- - при  $D_k$  360 т/ч, топливо мазут (механические форсунки);
- ▲ - при  $D_k$  405 т/ч, топливо мазут (ФУЗ-5000);
- × - при  $D_k$  300 т/ч, топливо мазут в горелках № 1, № 2 (КГЭУ), газ в горелках № 3, 4, 5, 6

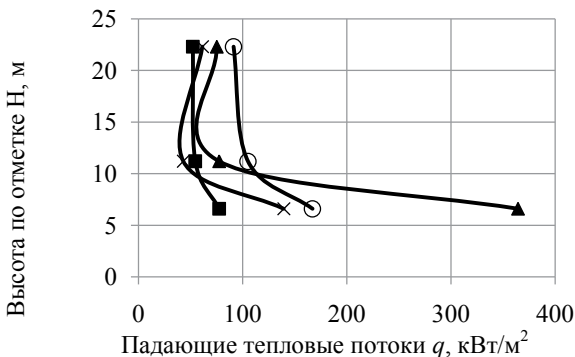


Рис. 5. Падающие тепловые потоки в сечении 2, левый бок котла:

- - при  $D_k$  355 т/ч, топливо газ все горелки;
- - при  $D_k$  360 т/ч, топливо мазут (механические форсунки);
- ▲ - при  $D_k$  405 т/ч, топливо мазут (ФУЗ-5000);
- × - при  $D_k$  300 т/ч, топливо мазут в горелках № 1, № 2 (КГЭУ), газ в горелках № 3, 4, 5, 6

**Выводы:** Использование паромеханических вместо механических форсунок дает большее значение падающих потоков во всем объеме топки котла, что в дальнейшем отражается большими температурами факела на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок.

2. При переводе горелок № 1 и № 4 на мазут при паропроизводительности 300 т/ч с использованием предлагаемых форсунок суммарное значение падающих потоков на 5 % выше, чем при сжигании газа с паропроизводительностью 355 т/ч, и на 30 % выше, чем при сжигания мазута через механические форсунки с паропроизводительностью 360 т/ч, за счет большого угла распыливания.

### Список используемых источников

1. Таймаров М.А. Практические занятия на ТЭЦ. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003, 90 с.
2. Современные технологии газификации твердого топлива: Монография / М.А. Таймаров, Ахметова Р.В. Казань, 2016. 76 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ахметов Эдуард Адгамович, к.т.н., доц.

Исламова Алия Мухаматаминовна,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, корп. Б, каф. ПТЭ

ahmetovite@mail.ru

*В статье приводится сравнение трех способов очистки сточных вод для промышленных предприятий и результаты расчетов затрат на тепловую и электрическую энергию.*

**Ключевые слова:** *очистка сточных вод, бессточные системы, испаритель мгновенного вскипания.*

*Three methods of wastewater treatment for industrial enterprises and the results of costs calculations on thermal and electric energy are considered in this article.*

**Keywords:** *Cleaning of drains, drainless systems, instant boiling evaporator.*

В наше время многие отрасли промышленности нуждаются в производстве воды высокого качества для технологических целей. Содержание солей в такой воде должно быть в десятки тысяч раз меньше, чем в исходной природной воде. При этом, исходная вода используется в очень больших количествах, и как следствие, образуется значительное количество сильно загрязненных производственных сточных вод, которые после биологической очистки сбрасываются в открытые водоемы. Следует заметить, что уже в настоящее время в ряде районов России возникают проблемы, связанные с дефицитом питьевой воды, сдерживающие темпы роста промышленности, создающие

социальную напряженность. Эта проблема усугубляется постоянным, прогрессирующим ростом загрязнения водных источников. Для водоемов опасны сточные воды предприятий химической и нефтехимической промышленности. Сточные воды этих предприятий характеризуются сложным и переменным составом, высокой токсичностью, большим содержанием растворенных, а не взвешенных, загрязнений, отсюда не все методы эффективны и не всегда пригодны для повторного использования воды на предприятиях. Замена природных пресных вод, которые расходуются на технологические и энергетические нужды, очищенными сточными водами позволит решить проблему ликвидации дефицита водных ресурсов и предотвратить истощение запаса пресных вод.

Основными путями улучшения водоснабжения промышленных предприятий являются разработка новых технологий, характеризующихся сокращением потребляемой воды и загрязненных стоков; подготовку очищенной воды к повторному использованию; организация бессточных систем, включая сбор и использование очищенных сточных вод с территории предприятий. В бессточных системах водоснабжения на предприятиях вместо свежей воды используется доочищенная до норм качества технической воды смесь промышленных и бытовых сточных вод, предварительно прошедшая необходимые этапы очистки.

Бессточные системы водоснабжения являются наиболее современными и экологически чистыми типами систем.

В таких системах городские сточные воды предприятий после доочистки используются для восполнения потерь воды в системах оборотного водоснабжения. Внедрение на предприятии бессточной системы водоснабжения дает возможность исключить сброс в водоем химически загрязненных стоков, утилизировать отходы производства.

В работе рассматривается Зварианта очистки сточных вод промышленного предприятия, каждый из которых включает в себя по три стадии с последующим возвратом очищенной воды в систему водоснабжения:

1 вариант:

1 стадия- очистка от механических примесей (использование гидроциклонов, механических фильтров, прудов отстойников и т.д.)

2 стадия – использование испарительной установки. Принцип действия испарителя мгновенного вскипания заключается в генерации пара при многократном адиабатном вскипании воды в ступенях испарителя, которая осуществляется в условиях вакуума в свободном объёме аппарата.

3 стадия - получение сухого остатка в распылительной сушилке с последующей утилизацией.

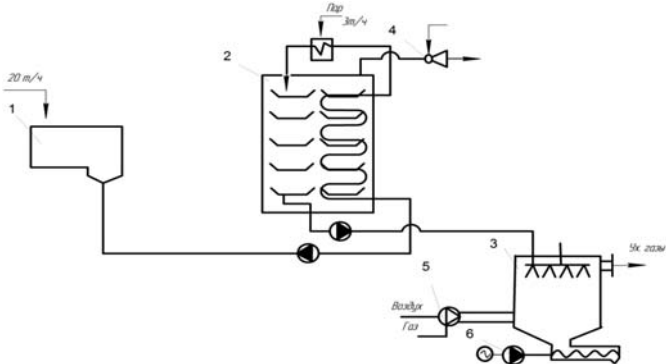


Рис.1 Вариант бессточной системы водоснабжения 1.

1-Гидроциклон; 2- Испаритель мгновенного вскипания; 3-Распылительная сушилка; 4- Эжектор; 5- Воздуховод; 6- Электродвигатель.

2 вариант:

Вариант второй отличается от первого тем, что вместо эжектора, удаляющего газы из замкнутого пространства и поддерживающего разрежение в испарителе мгновенного вскипания, устанавливаем вакуумный водокольцевой насос. Вакуумные насосы применяются для удаления воздуха, пара, смесей пара и газа, и создания вакуума в установке.

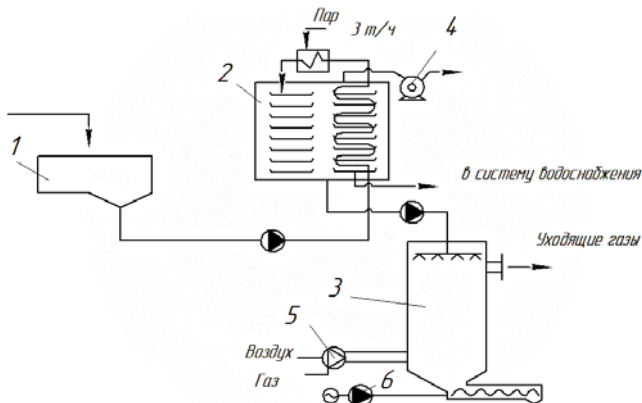


Рис.2 Вариант бессточной системы водоснабжения 2.

1-Гидроциклон; 2 – ИМВ; 3 – Распылительная сушилка; 4 – Вакуумный водокольцевой насос; 5- Воздуховод; 6- Электродвигатель.

## 3 вариант:

Третий вариант отличается от вышепредложенного тем, что вместо распылительной сушилки мы устанавливаем аппарат с погруженными горелками, в которых выпаривание раствора производится за счет сгорания газа в горелке, погруженной непосредственно в слой жидкости, после чего сухой остаток также утилизируется.

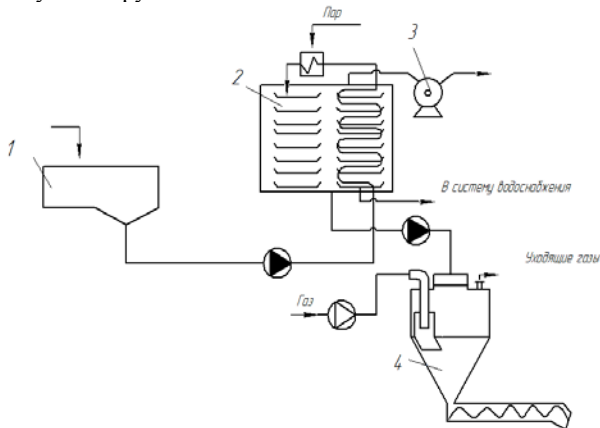


Рис.3 Вариант бессточной ситемы водоснабжения 3.

1-Гидроциклон; 2- Испаритель мгновенного вскипания; 3-Вакуумный водокольцевой насос; 4 –Аппарат с погружными горелками.

Преимущество использования данных систем водоснабжения в том, система повторного использования воды внутри промышленного комплекса является высокоэффективным направлением в сокращении водопотребления и сброса сточных вод.

В статье рассмотрены три схемы систем очистки сточных вод промышленных предприятий при расходе воды 20 т/ч. Так же была рассчитана себестоимость 1 тонны очищенной воды, полученная каждым из четырех способов очистки в затратах только на тепловую и электрическую энергию.

Тепловая энергия расходуется на подогрев воды на входе в установки. В испарителях мгновенного вскипания исходную воду необходимо нагреть с  $10^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$  для начала процесса парообразования.

Электрическая энергия расходуется на привод насосов. В испарителях мгновенного вскипания применяются циркуляционные насосы, вакуум-насосы.

Тепло потребляется при использовании испарителей мгновенного вскипания и оно наиболее существенно и одинаково для всех схем.

В ходе проведения расчетов были получены следующие результаты себестоимости получения 1 тонны очищенной воды от расхода исходной воды в затратах только на тепловую и электрическую энергию с учетом тарифа (1 кВт/ч= 3 руб.43 коп.):

- Вариант 1: 252 рубля 69 копеек за 1 тонну;  
Вариант 2: 252 рубля 67 копеек за 1 тонну;  
Вариант 3: 251 рубль 83 копейки за 1 тонну.

На основании этих данных можно сделать вывод, что наиболее экономичным будет вариант использования системы очистки воды с использованием испарителя мгновенного вскипания, аппарата с погружными горелками и водокольцевого насоса.

### Литература.

1. Экологическое и технологическое совершенствование водоподготовительных установок. Б.М, Ларин., Е.Н. Бушуев и др. Материалы МНПК «Экология энергетики 2000»; М., МЭИ 2000 г. с. 156
2. Стерман Л.С. Физические и химические методы обработки воды. М.: Энергоатомиздат, 1991. 328 с.
3. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 496 с.
4. И.И. Чернобыльский, Ю.М. Тананайко Сушильные установки химической промышленности М., «Техника» 1969г. 280 стр.
5. Исламова А.М. Современные методы очистки сточных вод промышленных предприятий // Десятая междуна. молодеж. науч. конф. «Научному прогрессу-творчество молодых»/ ПГТУ. – Йошкар-Ола, 2015. – С. 247-248.

## СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НУЖД ПРЕДПРИЯТИЙ

Ахметов Эдуард Адгамович, к.т.н., доц.

Ротац Рита Рустемовна

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, корп. Б, каф. ПТЭ

ahmetovite@mail.ru

*В статье приведены результаты расчетов затрат на тепловую и электрическую энергию для каждого из трех методов обессоливания воды: обратный осмос, ионный обмен, испаритель мгновенного вскипания.*

**Ключевые слова:** обессоливание воды, обратный осмос, ионный обмен, испаритель мгновенного вскипания.

*The results of calculations of the cost of heat and electricity for each of the three methods of water desalination reverse osmosis, ion exchange, instant boiling evaporator.*

**Keywords:** *water desalination, reverse osmosis, ion exchange, instant boiling evaporator.*

Как правило, для получения глубокообессоленной воды предприятия применяют один из следующих методов: обратный осмос, ионный обмен или термический метод, в частности испаритель мгновенного вскипания.

Суть метода обратного осмоса (ОО) заключается в отделении деминерализованной воды через тонкопленочную полупроницаемую мембрану под давлением выше осмотического.

Принцип ионного обмена (ИО) заключается в использовании способности некоторых специальных материалов (ионитов) изменять в желаемом направлении ионный состав примесей воды.

Альтернативой химическим и безреагентным методам обессоливания воды является термический метод.

Наиболее экономичным из аппаратов термоподготовки воды является вакуумный. К таким аппаратам относятся испарители мгновенного вскипания (ИМВ).

Принцип действия ИМВ заключается в генерации пара при многократном адиабатном вскипании воды в ступенях испарителя, которая осуществляется в условиях вакуума в свободном объеме аппарата.

В условиях рыночной экономики любое предприятие стремится быть конкурентоспособными на рынке. Первичными критериями конкурентоспособности являются качество и стоимость отпускаемой продукции. В свою очередь стоимость продукции зависит от себестоимости. Доля энергетических затрат в себестоимости продукции является наибольшей.

При использовании обратного осмоса для обеспечения указанных требований к получаемой воде необходимо обеспечить очистку воды перед ее подачей на мембранную установку обратного осмоса. Она включает в себя узлы: механической фильтрации - обезжелезивания воды, дехлорирования воды, дозирования ингибитора, обеззараживания воды ультрафиолетом.

При использовании установок ионного обмена вода перед подачей на установку должна так же пройти ряд стадий: механическая фильтрация, обеззараживание.

Испарители мгновенного вскипания работают обычно на сырой воде с затравкой или на воде, обработанной методом подкисления.

В статье рассчитано годовое потребление тепловой и электрической энергии каждым из методов обессоливания воды при расходах воды от 10 до 100 т/ч. Так же была рассчитана себестоимость 1 тонны обессоленной воды, полученная каждым из трех методов в затратах только на тепловую и электрическую энергию.

Тепловая энергия расходуется на подогрев воды на входе в установки. При применении установок обратного осмоса исходную воду необходимо нагреть с 10°C до 25 °C для обеспечения заданной производительности. При использовании установок ионного обмена исходная вода должна быть нагрета до 40°C для более полного протекания реакций. В испарителях мгновенного

вскипания исходную воду необходимо нагреть с 10°C до 100 °C для начала процесса парообразования.

Электрическая энергия расходуется на привод насосов. В установках обратного осмоса применяются высоконапорные насосы для повышения давления воды при прохождении ее через мембраны. В установках ионного обмена так же используются высоконапорные насосы для прохождения воды через слой ионообменной смолы, которая обладает большим гидравлическим сопротивлением. В испарителях мгновенного вскипания применяются циркуляционные насосы, насосы обессоленной воды, насосы конденсата греющего пара, вакуум-насосы.

В ходе проведения расчетов были получены следующие результаты. Для наглядности полученные данные отображены в диаграммах.

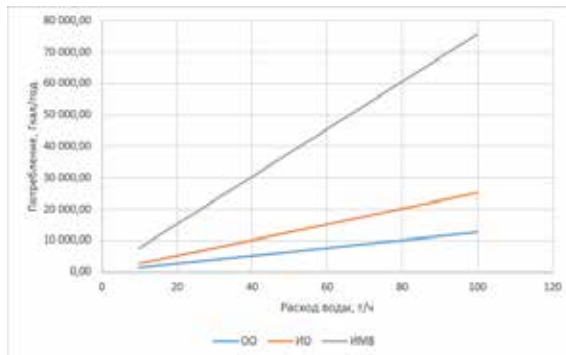


Диаграмма 1. Зависимость потребления тепловой энергии от расхода воды

Диаграмма 1 отображает зависимость количества потребляемой тепловой энергии от расхода воды, подаваемой на установку. Как видно из диаграммы, потребление тепловой энергии растет с увеличением расхода воды в каждом из рассматриваемых методов обессоливания. Однако наибольшее количество тепла потребляется при использовании испарителей мгновенного вскипания при всех расходах. Наименьшее количество тепла затрачивается при использовании установки обратного осмоса.



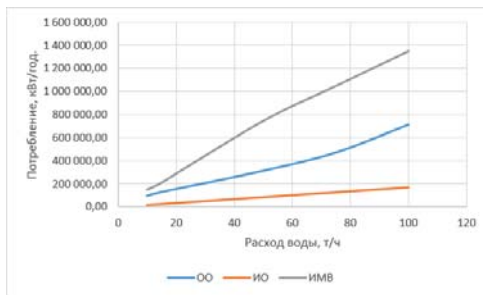


Диаграмма 2. Зависимость потребления электрической энергии от расхода воды

На Диаграмме 2 отображена зависимость количества потребляемой электрической энергии от расхода воды, подаваемой на установку. Наибольшее потребление электрической энергии приходится на испарители мгновенного вскипания при всех расходах воды. Однако в графике имеется некоторая нелинейность: при расходах воды от 50 до 55 т/ч отмечается наибольшее потребление электроэнергии. Наименьшее потребление электроэнергии приходится на установки ионного обмена при всех расходах воды. В установках обратного осмоса зависимость линейная, однако при расходах от 70 до 85 т/ч происходит уменьшение потребления электрической энергии.

Диаграмма 3 отображает зависимость себестоимости получения 1 тонны обессоленной воды от расхода исходной воды в затратах только на тепловую и электрическую энергию. Наибольшие значения себестоимости обессоленной воды достигается при использовании испарителей мгновенного вскипания, наименьшие – в установках обратного осмоса. В случае использования установки ионного обмена себестоимость воды не меняется при любом из рассматриваемых расходов, и составляет 48,88 руб./т.

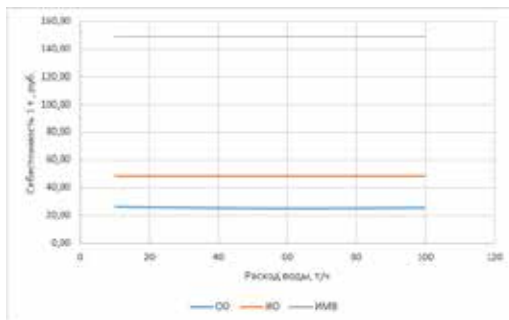


Диаграмма 3. Зависимость себестоимости производства 1 т обессоленной воды от расхода исходной воды (в затратах только на тепловую и электрическую энергию)

Таким образом, сравнивая энергетические затраты, можно сделать вывод о том, что наиболее экономичным методом обессоливания является метод обратного осмоса. Это обуславливается тем, что потребление тепловой энергии при обратном осмосе в 2 раза меньше, чем при ионном обмене и почти в 5 раз меньше, чем при применении ИМВ.

Но стоит так же отметить, что помимо энергетических затрат в себестоимость обессоленной воды входят и другие составляющие. Одной из составляющих себестоимости является применение химических реагентов.

В обратном осмосе химические реагенты применяются в небольшом количестве, в основном на промывку мембран. При ионном обмене их количество существенно. При использовании ИМВ химические реагенты практически не применяются.

#### Литература.

1. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 496 с.
2. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. - М.: ДеЛи принт, 2004.- 328 с.
3. Стерман Л.С. Физические и химические методы обработки воды. М.: Энергоатомиздат, 1991. 328 с.
4. Ротач Р.Р. Комплексная подготовка питьевой воды// Десятая междуна. молодеж. науч. конф. «Научному прогрессу-творчество молодых»/ ПГТУ. – Йошкар-Ола, 2015. – С. 269-270.

УДК 676.1

### ТРЕНД ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

*Аспирант Г.И. Бадыкова<sup>1,2</sup>, аспирант Н.Х.Гиниятов<sup>1,2</sup>,  
аспирант В.Г. Борбузанов<sup>1,2</sup>, магистрант А.А. Колясев<sup>2</sup>, д.т.н. Е.Л.Матухин<sup>1</sup>,  
д.т.н. А.В.Косточко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Федеральное казенное предприятие «Казанский государственный казенный пороховой завод»*

*420032, Республика Татарстан, Россия, г. Казань, ул. 1 Мая, д.14.*

*E-mail: kazanpowder@KGTS.ru*

<sup>2</sup>*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

*420015, Республика Татарстан, Россия, г. Казань, ул.Карла Маркса, 68.*

*E-mail: htvms@kstu.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается инновационное развитие производственно-технологического потенциала предприятия на примере ФКП «КГКПЗ».

**Ключевые слова:** стратегия инновационного развития, научно-технологический прогноз, национальная технологическая инициатива, эволюционно-технологический подход.

Стратегия инновационного развития промышленного предприятия предусматривает конструктивные решения по выводу из кризиса многих отраслей промышленности, которые должны базироваться на комплексных системных проектах, предусматривающих реализацию ряда технических мероприятий по базовым и критическим технологиям. Процесс внедрения новых технологий и производств осуществляется на основе инвестиционных проектов, реализация которых должна производиться с учетом степени вовлечения трудовых ресурсов, их социальной значимости, снижения масштабов негативного воздействия на окружающую среду и т.п.[1].

В протоколе от «31» марта 2016 года (п. Кубинка Наро-Фоминского района Московской области) по результатам недавно проведенной с участием Главного управления научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных технологий) Министерства обороны Российской Федерации научно-практической конференции на тему: «Проблемы создания и внедрения перспективных материалов в интересах развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации» отмечалось, что к настоящему времени *«не разработаны научно-технологический прогноз по важнейшим проблемам развития исследований и производства в отрасли и стратегическое планирование научно-исследовательских проектов государственного значения, имеющих базовый, межведомственный и системообразующий характер для всей промышленности. Остается острой необходимостью создания «зоны опережающего роста», реализация которой вкупе с принятием указанных выше мер обеспечит России переход на новый технологический уклад и/или технологическое лидерство по отдельным направлениям».*

Актуальным является рассмотрение всего исторического опыта становления и развития производственно-технологического комплекса Казанского порохового завода и ряда других предприятий для разработки методологии проектирования их инновационной модернизации с использованием комплекса технологического, системного, процессного, исторического, системно-эволюционного и других научных подходов.

Как известно, сегодня с учетом ограниченных ресурсов оптимальной воспроизводимой инвестиционной моделью в России признается и осуществляется на практике модернизация предприятий, традиционно производящих комплектующие, полуфабрикаты, сырье и являющихся наиболее капиталоемкими активами экономики. Одновременно ставится задача проектирования и нового строительства менее капиталоемких производств, основанных на ресурсосберегающих неэнергоемких экологически чистых гибких технологиях и направленных на изготовление конкурентоспособных готовых изделий и продукции. При этом констатируется, что сегодняшние проблемы отечественного производства состоят не столько в отмирающих

промышленных отраслях, а сколько в применяющихся на них устаревающих или уже устаревших ресурсозатратных технологиях.

Следует особо отметить, что в сегодняшней обстановке, как заявил В.В. Путин: *«у ОПК нет возможности спокойно догонять кого-то, мы должны совершить прорыв, стать ведущими изобретателями и производителями. Реагировать на угрозы и вызовы только сегодняшнего дня – значит обрекать себя на вечную роль отстающих. Мы должны всеми силами обеспечить техническое, технологическое, организационное превосходство над любым потенциальным противником»* [2].

Необходимо учесть важность высказывания Д.Рогозина: *«... мы обязаны отказаться от идеи «догнать и перегнать»... И в вряд ли мы в короткий срок соберем силы и возможности, которые позволили бы на неимоверных скоростях догнать высокотехнологические страны. Это и не нужно делать. Нужно другое, гораздо более сложное... Нужно рассчитать курс ведения вооруженной борьбы с перспективой до 30 лет, определить эту точку, выйти на нее. Понять, что нам нужно, т.е. готовить оружие не завтрашнего дня и даже не послезавтрашнего дня, а на историческую неделю вперед... Я повторяю, не думайте о том, что делают в США, во Франции, в Германии, думайте о том, что у них будет через 30 лет. И вы должны создать то, что будет лучше, чем есть у них сейчас. Не идите за ними следом, попытайтесь понять, куда все клонится, и тогда мы выиграем»* [3].

Кроме того, рассматривая концептуальные вопросы развития ударных комплексов рекомендовано Российским разработчикам, заказчикам и потенциальным потребителям новейшей техники, технологии и изделий специального назначения *«учитывать то, что в проводимых за рубежом разработках перспективных образцов военной техники (особенно в США) используется множество новейших и дорогостоящих научно-технических достижений, воспользоваться которыми (или выявить, организовать и обеспечить необходимыми ресурсами аналогичные передовые достижения в России) было бы крайне необходимо. В противном случае у России будет серьезное отставание, которое может оказаться необратимым»*[4].

Национальная технологическая инициатива (НТИ), заявленная Президентом Российской Федерации 4 декабря 2014 года в Послании к Федеральному собранию как один из приоритетов государственной политики, является долгосрочной комплексной программой по созданию условий для обеспечения лидерства российских компаний на новых высокотехнологических рынках, которые будут определять структуру мировой экономики в ближайшие 15-20 лет.

Ранее отмечался «ложный» прогресс, когда в некоторых случаях создавались затратные производства с бесполезной избыточной мощностью, рассчитанные на использование в, так называемый, особый период. Стоит научно-технологическая задача по сокращению значительного числа процессов и производств не за счет, в частности, размещения большого объема информации, энергии, различных производств даже путем технологической концентрации на меньших пространствах, а прежде всего путем внедрения

гибких ресурсосберегающих технологий с меньшим энерго-ресурсопотреблением. Некоторые из этих задач стоят перед современными биотехнологиями и нанотехнологиями. Однако, не ожидается, к сожалению, широкого практического применения научно-технологических результатов исследований в этих перспективных областях, по крайней мере в ближайшей перспективе 3-5 и более лет.

Одной из причин существующего положения, наряду с другими, является крайне низкая продуктивность головных разработчиков по проблеме. Кроме того, у самих предприятий, как правило, отсутствуют свободные средства для приобретения дорогостоящих разработок и нового технологического оборудования на фоне не восприимчивости многих предприятий и организаций к широкому спектру инновационных предложений.

Ожидается, что последующий технический прогресс улучшит экологические качества материалов, реактивности, аэродинамику, строение, горючесть и скорость. Новые технологии коренным образом изменят ранее существовавшие способы производства. Например, в развитии высокоточных реактивных систем залпового огня (РСЗО) уже сейчас ставятся задачи по достижению качественного прорыва в следующих направлениях [5]:

- увеличение дальности в 1,7 раза по сравнению со штатными РСЗО;
- повышение точности стрельбы в 15 раз;
- повышение эффективности стрельбы в 6...15 раз;
- снижение стоимости решения типовой боевой задачи в 2...6 раз в зависимости от типа цели.

Указывается, что для российского ОПК необходим «технологический рывок, который не мыслимым без научно обоснованного методического аппарата по выявлению новых передовых и зарождающихся технологий» [6,7].

Особое значение следует придать научно-техническому направлению, связанному с прогнозом и созданием принципиально новых технологий будущего производства на основе системно-эволюционного технологического подхода.

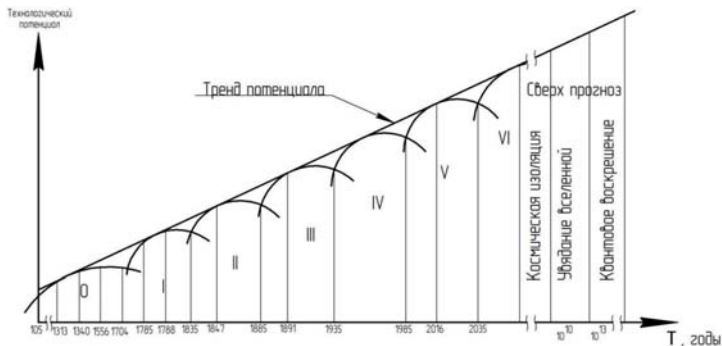
Существенный научно-практический интерес вызывает эволюционно-технологический подход к развитию технологий, в частности, технической химии, который осуществляется в ведущих зарубежных странах (США, Великобритании, Японии, Франции и Германии), являющийся отражением одного из двух взглядов на направления развития науки и техники - революционного и эволюционного. Под последним понимается методология создания перспективных образцов на основе « *постепенного многошагового процесса повышения уровня знаний в определенных научно-технологических областях и предназначенную для обеспечения достоверности прогнозируемого облика* » будущей технологии, стабильности программ создания перспективных образцов, а также снижения риска при решении стратегических проблем. При рассмотрении эволюции системы необходимо учитывать детерминированные процессы, происходящие по заранее известным законам изменения во времени, поддающимся прогнозу и управлению, и стохастические (случайные), которые определяют отклонения состояния системы от заданного закона её

функционирования в условиях элиминирования эффектов случайных воздействий[8]. При этом на основе предположения об эволюционном процессе развития исследуемых сложных технических систем авторы (А.В. Крынев, С.С. Семенов) определили характер развития современной техники, основные принципы и метод оценки технического уровня сложных технических систем с зарождающимися технологиями.

Для широко известной Казанской научной и производственной школы пороховиков, химиков и технологов рассматриваются на основе системно-эволюционного подхода и других научно-методологических принципах особенности исторического становления, развития и будущее интеграции производства, науки, образования и подготовки высококвалифицированных кадров в области технического производства, соответствующего нарождающейся фазе грядущего технологического уклада.

Следует указать, что исторически создание *Казанского порохового завода совпало по времени с началом первой промышленной революции и возникновением первого технологического уклада. Согласно теории длинных волн Н. Кондратьева* научно-техническая революция развивается волнообразно с циклами протяженностью примерно в 50 лет. *Известно 5 технологических укладов (волн).* В настоящее время рассматриваются особенности будущего 6-го технологического уклада.

С конца 80-х гг. прослеживалось наличие одновременно 3, 4 и 5-го технологических укладов с преобладанием 3 и 4-го укладов. Соответственно производство и технологии пороха на Казанском заводе проходили технологические этапы обновления и совершенствования.



- 1075 з. – Начало изготовления бумаги (Китай)
- 1313 з. – Изобретение черного пороха для огнестрельного оружия, Б.Шварц
- 1340 з. – Первый пороховой завод в Германии
- 1556 з. – Кустарное производство, пороховая мельница, г. Казань
- 1704 з. – Пороховые заводы России: Охтенский, Сестрорецкий, Петербургский
- 1788 з. – Пороховой завод (черный порох), г. Казань
- 1847 з. – Первый пироксилиновый завод в г. Аугсбурге (Германия) взрыв завода
- 1891 з. – Пироксилиновый завод в г. Казани
- 2016 з. – ФКП "КГКПЗ", г. Казань

Рисунок 3 - Эволюция технологических укладов (0-VI) и сверх прогноз

Производство черного пороха на Казанском казенном пороховом заводе оставалось основным на протяжении более 103 лет до 1891 года (*I, II и начало III технологических укладов*) до того времени, когда, не останавливая его производство, завод приступил к строительству нового производства и освоению более прогрессивной технологии изготовления более мощных пироксилиновых порохов и сборки зарядов (*начало III и IV технологических укладов*), изготовление которых продолжается на заводе до настоящего времени (*IV и V технологические уклады*). В настоящее время можно говорить о новой промышленной революции (2008 г) и условиях перехода к шестому технологическому укладу (2035 г). При этом является особо важным при решении проблемы проектирования и внедрения производственно-технологических инноваций использование известных положений теорий инноваций, теорий «творческого разрушения», принципов дискретности инноваций, взаимосвязи инновационного процесса и дискретного экономического развития, категорий «базисных инноваций», «технического способа производства» и др. с учетом практического применения этих теорий для инновационной модернизации производственно-технологического комплекса на Казанском пороховом заводе [9-16].

В настоящее время актуальным является научно-методическое обоснование перехода на доминирующие технологии и способы производства с необходимостью инвестиций в науку, производства и образование, относящихся не к уже уходящему технологическому укладу, в устаревшие производства или быстро устаревающие технологии, а в перспективные направления инновационного развития производственно-технологического комплекса на легендарном Казанском пороховом заводе.

#### Литература:

1. Р.Н.Яруллин, Х.З.Гиниятов., Е.Л.Матухин Диверсификация производства на Казанском пороховом заводе // Научно-технический журнал «Боеприпасы и спецхимия», выпуск №2. 2007 г.
2. В.В.Путин Быть сильными: гарантии национальной безопасности для России //Российская газета. -2012.-№5708 - 20 февраля. - С.1-3.
3. Д.О. Рогозин Работа по точному алгоритму // Национальная оборона.- 2012.-№2.- С.34-40.
4. Семенов С.С., Полтавский А.В., Бурба А.А., Аверкин А.Е., Полохов А.Н. Концептуальные вопросы развития ударных комплексов беспилотных летательных аппаратов // Боеприпасы. 2012. -№3. М.: ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И.Менделеева» – с. 26-44.
5. Г.А. Денежкин, О.Г. Борисов, И.П. Петров, А.А. Поляков К вопросу о развитии высокоточных реактивных систем залпового огня // Боеприпасы, 2011.- №1. М.: ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И.Менделеева» – с. 84-85.
6. А.А. Редько, С.А. Полторыхин Комплекс проектно-конструкторских мероприятий повышения эффективности РСЗО, основанный на принципе

деформационной адаптивности // Боеприпасы, 2011.- №1. М.: ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И.Менделеева» – с. 44-47.

7. Д.О. Рогозин России нужна «умная оборонка» // Красная звезда. -2012.- 7 февраля. – с.3.

8. А.В. Крынев, С.С. Семенов Метод оценки технического уровня сложных технических систем, основанных на использовании зарождающихся технологий // Боеприпасы, 2013.- 3. М.: ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И.Менделеева» – с. 36-51.

9. Матухин Е.Л., Заббарова Г.И. Стратегия обеспечения экономико-технологической безопасности промышленного предприятия //Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее: Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках форума: «Безопасность и связь». Часть I. /Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. - Казань: ГБУ «Научный центр безопасности и жизнедеятельности», 2014.- 808с. – С.319-324.

10. Заббарова Г.И., Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л. Казанский пороховой завод: традиции, инновации и хроника побед // Современные железные дороги материалы конференции / Федер. Агентство ж.-д.- транспорта, Моск. гос.ун-т путей сообщения (МИИТ), Волгогр. Фил.- Волгоград: Феникс, 2014. Вып.8 6 материалы международной научно-практической конференции, 26мая 2015 г. [науч. ред.: В.В. Арьемьева, Ю.С. Бахрачева] . -2015.-150 с. С.10-15.

11. Заббарова Г.И., Мингазова В.К. Матухин Е.Л., Косточко А.В. Истоки государственно-частного партнерства в освоении новых технологий: от Ушкова до наших дней. Химия двух эпох российской провинции: история и современность. Сб. научных статей. - Менделеевск, 2016. – 179 с. – С.70-75.

12. Сокольников М.А. Технологический уклад: к истории вопроса // Инновации и инвестиции, №4, 2016.- с.43-44.

13. История и Математика: Модели и теории /Отв. ред. Л. Е. Гринин, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков. Ид. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016.-304 с.

14. Комаров В.М. Основные положения теории инноваций /В.Комаров.- М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2012.-190 с. –(Инновационная экономика : теория).-

15. Х.З. Гиниятов, Р.Н.Яруллин, Е.Л. Матухин Вектор реструктуризации научно-прикладного сектора технологических исследований // Научно-технический сборник «Боеприпасы» - М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева.- 2007. - № 1, - С. 12 – 14.

16. Борбузанов В.Г., Ахмадуллин И.Н., Гиниятов Н.Х., Матухин Е.Л. Модернизация производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий на Казанском пороховом заводе // Научно-технический сборник «Боеприпасы» - М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева. - 2015. - №2.



## МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Байрамов Фарит Давлетович, Байрамов Булат Фаритович

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра механики и конструирования,  
Набережные Челны

423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19

### *Аннотация*

*Разработана принципиальная схема системы подачи смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) с регулятором расхода жидкости. Регулирование расхода осуществляется за счёт изменения частоты вращения вала насоса.*

### *Abstract*

*The principal scheme of greasing-cooling technological substances delivery system with the automatic liquid flow regulator is developed. Liquid flow regulating is carried out due to the change of pump shaft rotation frequency.*

Ключевые слова: *автоматический регулятор, расход жидкости, система подачи смазочно-охлаждающих технологических средств, электродвигатель насоса.*

На многих машиностроительных предприятиях для обеспечения подачи к металлорезающим станкам СОТС применяется система, упрощённая схема которой показана на рис. 1. Она состоит из электродвигателя 1, системного центробежного насоса 2, фильтрационного центробежного насоса 3, чистового бака 4, грязевого бака 5, полосового фильтра 6, переливного клапана 7 и двух трубопроводов. По первому трубопроводу жидкость подаётся из чистового бака к металлообрабатывающим станкам и от них в грязевой бак. По второму трубопроводу жидкость подаётся из грязевого бака в полосовой фильтр и от него в чистовой бак.

При работе системы загрязнённая жидкость стекает от металлообрабатывающих станков в грязевой бак. Фильтрационный насос 3 нагнетает жидкость из грязевого бака 5 в полосовой фильтр 6, из которого очищенная жидкость стекает в чистовой бак 4. Из чистового бака жидкость подаётся насосом 2 к металлообрабатывающим станкам.

Мощность фильтрационного насоса 3 превышает мощность системного насоса 2 на 10%. Поэтому жидкость постоянно сливается через переливной канал 10 из чистового бака 4 в грязевой бак 5. Неизменное давление, с которым подаётся жидкость к станкам, обеспечивает переливной клапан 7, который сливает часть подачи насоса 2 в чистовой бак при увеличении давления в трубопроводе выше требуемого.

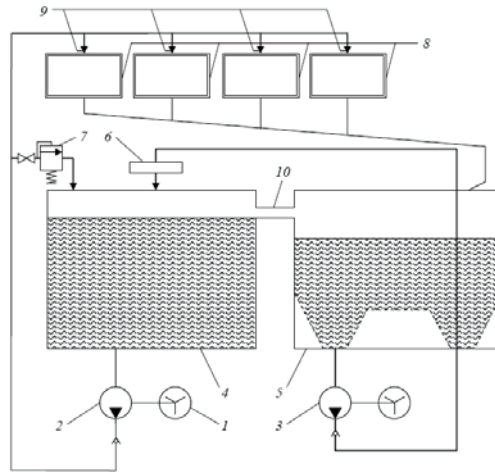


Рис. 1 – Схема системы подачи СОТС:

1 – электродвигатель; 2 – системный насос; 3 – фильтрационный насос; 4 – чистовой бак; 5 – грязевой бак; 6 – полосовой фильтр; 7 – переливной клапан; 8 – металлообрабатывающие станки; 9 – насадки; 10 – переливной канал.

Однако наиболее экономичным является регулирование расхода жидкости за счёт изменения частоты вращения вала двигателя насоса, исключая непроизводительный слив части СОТС после насоса в бак. В связи с этим в модернизированной системе подачи СОТС переливной клапан 7 (рис. 1) предлагается заменить регулятором расхода жидкости (рис. 2), которым снабжается электродвигатель 1 системного насоса 2 (рис. 1).

Регулятор расхода работает следующим образом. Датчик расхода, представляющий собой сужающую диафрагму, измеряет расход жидкости косвенно через перепад давления. Эта разность давления преобразуется в перемещение мембраны дифференциального преобразователя. Мембрана связана штоком с электромеханическим преобразующим устройством (ЭПУ), в котором осуществляется преобразование перемещения штока мембраны в напряжение постоянного тока, пропорциональное этому перемещению. Напряжение ЭПУ управляет частотным преобразователем. Под воздействием этого управляющего напряжения частотный преобразователь, изменяя частоту напряжения питания, регулирует скорость вращения вала двигателя. Таким образом, осуществляется регулирование расхода подаваемой жидкости. Расчётное значение расхода устанавливается соответствующей затяжкой пружины датчика 5.

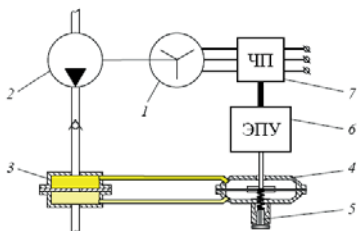


Рис. 2 – Регулятор расхода жидкости:

1 – электродвигатель; 2 – системный насос; 3 – датчик расхода; 4 – дифференциальный преобразователь давления; 5 – задатчик расхода; 6 – электромеханическое преобразующее устройство; 7 – частотный преобразователь.

### Выводы

1. Разработана принципиальная схема системы подачи СОТС с автоматическим регулятором расхода жидкости за счёт изменения частоты вращения электродвигателя насоса.
2. Модернизированная система более экономична, так как исключает постоянный непроизводительный слив части СОТС после насоса 2 в бак.

## ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В БЕРЕЖЛИВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Бобрышев Александр Анатольевич, к.т.н, доц. кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Тахавиев Раяз Халимович, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».  
Адрес 423812, Республика Татарстан, г.Набережные Челны, д. 68/19.

Лахно Александр Викторович – к.т.н, доц. кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Адрес 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.

**Аннотация.** Рассмотрены примеры возможностей аналитических инструментов качества: причинно-следственной диаграммы, диаграммы сходства, графа взаимозависимости в концепции применения бережливого производства изделий из полимерных композитов.

**Annotation.** Examples of analytical tools of quality features: a causal diagram, chart the similarities, in the concept of interdependence graph application of lean manufacturing products from polymeric composites.

**Ключевые слова:** бережливое производство, контроль и управление качеством, производственные процессы.

В основе философии организации производственных отношений, известной ныне как бережливое производство, лежит опыт лидера мировой автомобильной промышленности - компании Toyota. В этой компании были сформулированы и опробованы основные принципы производственной системы, которая сейчас пользуется авторитетом во всем мире [1,2]. Следует обратить внимание, что фундаментом бережливого производства являются шесть основных направлений: 1 - логистика процессов; 2 - контроль и управление качеством; 3 - стандартизация и сертификация; 4 - информатизация; 5 - маркетинг; 6 - организация производством. В этой статье покажем связь между элементами управления качеством и бережливым производством.

Часто концепция бережливого производства внедряется на предприятие, которое уже занимается выпуском продукции, в этой связи возникают сложности, заключающиеся в отсутствие ссылок и требований в уже разработанных технологических процессах (ТП), конструкторских (КД) и других нормативных документах. Поэтому инженеры по качеству внедряют частично/полностью инструменты контроля и управления качеством в ответственные производственные этапы. Для этого инженерный состав должен пройти краткий курс обучения, целью которого является: умение оперативно на практике использовать аналитические инструменты, выявляющие потери и причины в процессе производства. Далее в статье будут представлены примеры применения аналитических инструментов качества при производстве полимерных композитов в концепции бережливого производства. Пример полностью развернутой причинно-следственной диаграммы для анализа пористости полимерных композитных материалов полученных методом прямого компрессионного прессования показан на рис.1. Диаграмма применяется, как правило, при анализе дефектов, приводящих к наибольшим стоимостным или количественным потерям на основе диаграммы Парето. Она позволяет выявить причины таких дефектов и сосредоточиться на их устранении. В примере рис. 1. не указаны процентные доли факторов влияющих на пористость материала которые устанавливаются экспертами. Следует отметить, что в состав аналитической группы могут входить как собственные специалисты, так и специалисты из других организаций.

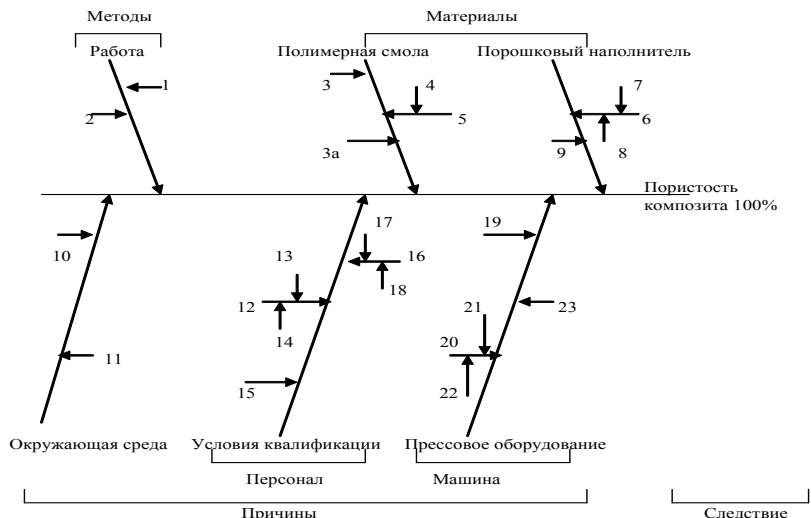
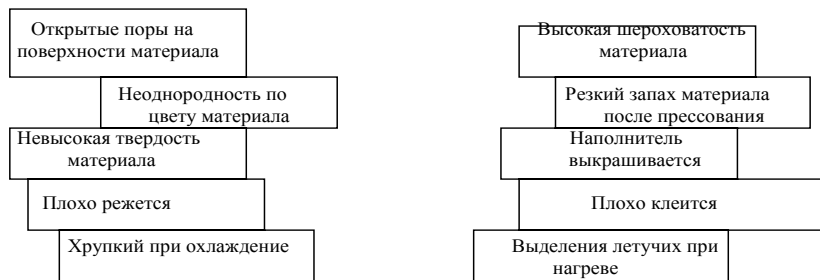


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма пористости композита:

1 – настройка режимов прессования, 2 – время и температура сушки исходного сырья, 3 – вязкость полимерной смолы, 3а – загрязнение полимерной смолы, 4 – период хранения, 5 – срок годности смолы, 6 – степень измельчения, 7 – период хранения, 8 – способ хранения, 9 – качество консерванта, 10 – чистота оборудования, 11 – чистота оснастки, 12 – инженер технолог, 13 – инженер конструктор, 14 – инженер программист, 15 – специалист по оснастке, 16 – оператор пресса, 17 – слесарь ремонтник, 18 – слесарь инструментальщик, 19 – электрика, 20 – пресс-форма, 21 – нагреватели, 22 – система охлаждения, 23 – контрольно-измерительное оборудование.

Диаграммы сходства строятся тогда, когда имеется большое число идей/жалоб/рекламаций в отношении производимого материала, которые необходимо систематизировать для выявления их связи, обычно они используются вслед за «мозговой атакой». Диаграмма сходства может строиться на любых этапах жизненного цикла продукции или процесса.

Пример диаграммы сходства, разработанной при производстве полимерного композитного материала произведенного методом прямого компрессионного прессования, представлена на рис. 2. Прямоугольники в верхней части диаграммы соответствуют отдельным рекламациям, которые озвучиваются во время «мозговой атаки» и записываются на листках бумаги. Далее рекламации систематизируются по характеристикам качества, это необходимо для того чтобы каждое подразделение занималось своим перечнем рекламаций в отношении материала.



Характеристики качества материала	Обсуждаемые рекламации
1. Физико-механические	открытые поры на поверхности материала; невысокая твердость материала; наполнитель выкрашивается, хрупкий при охлаждение; неоднородность по цвету материала
2. Назначение	открытые поры на поверхности материала; невысокая твердость материала; наполнитель выкрашивается,
3. Технологичность	наполнитель выкрашивается; плохо режется; плохо клеится
4. Внешний вид	открытые поры на поверхности материала; неоднородность по цвету материала
5. Органолептика	выделение летучих при нагреве; высокая шероховатость материала; резкий запах после прессования

Рис.2. Диаграмма сходства полимерного композитного материала произведенного методом прямого компрессионного прессования.

Систематизированная информация передается в отделы проектирования, конструирования и производства и в этих подразделениях рекламации анализируются с помощью графов взаимозависимости.

Граф взаимозависимости является логическим продолжением диаграммы сходства, причем графы строятся для всех характеристик качества представленных на рис 2. При построении графа взаимозависимости необходимо выделить центральные рекламации и определить звенья, которые связывают отдельные факторы, имеющие непосредственное отношение к изучаемой проблеме. Граф можно строить на тех идеях, которые появляются при построении диаграммы сходства, причем необходимо найти те звенья, которые ведут к отрицательным результатам [3]. На рис.2,3 представлены диаграмма сходства и граф взаимозависимости, построенные по результатам одной «мозговой атаки», направленные на получение ответа на вопрос: «Почему не устраивают физико-механические показатели?» Как видно из графа, ключевой рекламацией является «Выкрашивание наполнителя» т. к. устранение этого сбоя частично или полностью устранил другие дефекты представленные на графе.



Рис.2.2: Граф взаимозависимости «Почему не устраивают физико-механические показатели?»

При комплексном использовании аналитических инструментов качества проявляется максимальный эффект снижения затрат на всех этапах производства.

### Литература.

1. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Пер. с англ.- М.: Альпина Бизнес Букс, 2004.- 473 с.- (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
2. Лайкер Джеффри Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Джеффри Лайкер ; Пер. с англ.- М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.- 402 с. – (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
3. Управление качеством: Том 1 и 2. Принципы и методы всеобщего руководства качеством / Под общ.ред. Азарова В.Н., М.: МГИЭМ, 2000.

УДК 676.1

**ИННОВАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ФКП  
«КГКПЗ»**

*Аспирант В.Г. Борбузанов<sup>1,2</sup>, аспирант Н.Х. Ахмадуллин<sup>1,2</sup>, аспирант  
Н.Х.Гиниятов<sup>1,2</sup>, аспирант Г.И. Бадькова<sup>1,2</sup>, аспирант М.И.Самитов<sup>1</sup>,  
аспирант А.И. Туюшева<sup>2,3</sup>, д.т.н. Е.Л.Матухин<sup>2</sup>*

*Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений. Казанский  
национальный исследовательский технологический университет.*

*420015, Республика Татарстан. Россия, г. Казань, ул.Карла Маркса, 68.*

*E-mail:htvms@kstu.ru*

*Федеральное казенное предприятие «Казанский государственный  
казенный пороховой завод»*

*420032, Республика Татарстан. Россия, г. Казань, ул. 1 Мая, д.14.*

*E-mail:kazanpowder@KGTS.ru*

*Институт педагогики, психологии и социальных проблем*

*420039, Республика Татарстан. Россия, г. Казань, ул. Исаева, д.12*

*www.ippporao.ru*

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности инноваций инновационное развитие производственно-технологического потенциала предприятия на примере ФКП «КГКПЗ».

**Ключевые слова:** стратегия инновационного развития, научно-технологический прогноз, национальная технологическая инициатива, эволюционно-технологический подход.

Боеприпасная отрасль и ее неотъемлемая часть – пороходелие традиционно относятся к отраслям промышленности, свидетельствующим о соответствующем уровне технико-экономического развития государства.

Федеральное казенное предприятие «Казанский государственный казенный пороховой завод» (ФКП «КГКПЗ») – одно из старейших предприятий России основано по именному указу Императрицы Екатерины II Великой, сыгравшее ведущую роль в истории развития пороховой промышленности России.

До сравнительно недавнего времени резкое снижение оборонного заказа потребовало создание новых технологий, способных восполнить утерянные объемы военного производства. Поэтому перед специалистами Казанского порохового завода стояла задача создания новой, модернизированной, высокоэффективной ресурсосберегающей технологии изготовления порохов, расширения номенклатуры порохов военного и гражданского применения.



В настоящее время ФКП «Казанский государственный казенный завод» активно участвует в выполнении Федеральных целевых программ по модернизации и развитию производства.

В представляемой работе рассмотрены основные технические и технологические решения проблемы модернизации производства, разработки и освоения новых технологий и продукции различного назначения.

На ФКП «КГКПЗ» завершены работы по реконструкции производства переработки отработанных кислотных смесей. Внедрение вихревых концентраторов серной кислоты – совместная разработка завода и Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) позволило в 2 раза сократить производственные площади, сократить материальные затраты на изготовление оборудования в 12 раз, снизить затраты на монтаж и обслуживание оборудования в 15 раз, уменьшить энергопотребление, снизить газовые выбросы в 3-4 раза и решить экологические проблемы, традиционно сопровождающие эти производства, коренным образом улучшить условия работы работников цеха.

Впервые в России разработан и освоен современный производственный комплекс производства нитратов целлюлозы всех марок на основе современного технологического оборудования с комплексом автоматик. Внедрение нового оборудования на операции подготовки сырья уплотненной физической формы значительно расширило возможности в переработке целлюлозы различных поставщиков, повысило производительность труда, снизило трудоемкость процесса на данном участке. Внедрение универсального дискретно-непрерывного комплекса по изготовлению нитратов целлюлозы позволило: сократить обслуживающий персонал в три раза; снизить дозирочные расходные коэффициенты по азотной и серной кислоте на 22-25 %; сократить расход электроэнергии на 25%; уменьшить расход пара на 25%; снизить вредные выбросы в атмосферу в три-четыре раза и вывести обслуживающий персонал из опасных производственных зон.

Впервые в России разработан и освоен комплекс непрерывного совмещенного спиртоводоотжима нитратов целлюлозы на основе пульсирующей центрифуги, совмещающей две операции (водоотжима и спиртового обезвоживания) в одном аппарате для замены существующих отдельных процессов водоотжима и обезвоживания, осуществляемых в отдельных зданиях на центрифугах периодического действия, что и позволило вывести из оборота устаревшие центрифуги периодического действия и низкой производительности, автоматизировать технологический процесс, компьютеризировать систему управления процессом и вывести обслуживающий персонал из опасных производственных зон.

Для обеспечения выполнения заказов Российской Армии, Российских патронных заводов и поставок на экспорт разработаны технологическая документация, пресс-инструмент, технологическая оснастка, дополнительное оборудование, отработана технология изготовления и налажен массовый серийный выпуск более нескольких марок пироксилиновых порохов, ранее не производимых на заводе.

По технической документации, разработанной на заводе совместно с другими заинтересованными организациями, в настоящее время выпускается более 15 марок одноосновных и двухосновных спортивных и охотничьих порохов для дробовых и пулевых патронов к гладкоствольным ружьям и более 7 марок к нарезному охотничьему, спортивному и служебному оружию.

Первые разработаны и освоены в серийном производстве рецептурные составы и технологии высококачественных одноосновных и двухосновных охотничьих и спортивных порохов с баллистическими и эксплуатационными характеристиками на уровне лучших мировых аналогов. Разработанные пороха пользуются большим спросом на внутреннем и внешнем рынках.

Модернизация и реконструкция производственных цехов позволила вывести из основных средств здания с устаревшими технологиями, что повлияло на снижение себестоимости выпускаемой продукции на 10-15%.

Первые разработаны и освоены технологии изготовления высококачественных пироксилиновых порохов с вводом в состав пороховой массы крошки из утилизируемых порохов, охотничьих и цветопламенных порохов с использованием крошки из утилизируемых пироксилиновых порохов, а также с вводом в пороховую массу баллистического пороха для спортивных и охотничьих порохов.

Основные технические решения защищены патентами и авторскими свидетельствами РФ, что подтверждает приоритет отечественной науки и техники в области разработки и производства порохов и зарядов военного и гражданского назначения.

Для своевременного кадрового обеспечения разработана система опережающей внутрфирменного обучения персонала на основе методологии бережливого производства (Диплом конкурса «50 лучших инновационных идей Республики Татарстан»). Получена лицензия (№ 0013653 от 21.01.2011 г. Минобрнауки РТ) на ведение образовательной деятельности, отмеченной в 2015 году Дипломом Всероссийского конкурса программы «100 лучших товаров России» в номинации «Услуга по оказанию дополнительного профессионального образования и учебно-производственного обучения» (Диплом № 2015160101903, Москва, 2015 г.).

Предприятие является Лауреатом конкурса научных работ (проектов) в области инновационного развития профессионального образования 2015 г. на соискание Премии имени академика РАО Г.В. Мухаметзяновой и Дипломантом – победителем II Международного конкурса научно-исследовательских работ «Перспективы науки -2015» за проект «Инновационная стратегия развития производственно-технологического комплекса на основе историко-эволюционного подхода».

Развитие на предприятии Центра ДПО и открытого на заводе филиала Казанского национального исследовательского технологического университета соответствует Стратегии развития системы многоуровневого образования в оборонно-промышленном комплексе до 2020 года, утвержденной Приказом Минпромторга России от 24 сентября 2014 г. №1893 во исполнение поручения

Военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации (протокол от 24 октября 2013 г. №9).

Предприятие единственное из пороховых заводов России вступило в Европейскую ассоциацию производителей нитроцеллюлозы (ENA), которая является структурным подразделением Всемирной ассоциации производителей нитроцеллюлозы (WONIPA), что является международным признанием соответствия производства и продукции лучшим зарубежным стандартам и аналогам.

Следует отметить, что заводом получена *«Благодарность Президента Российской Федерации за достигнутые успехи и высокие показатели в профессиональной деятельности» (№ 47-РП от 5 марта 2014 г.)*.

Значимость работы в целом состоит в том, что выполненные исследования и разработки позволили провести модернизацию порохового производства и обеспечить выполнение со стороны предприятия в установленные сроки и в полном объеме Гособоронзаказа, планов ВТС, ГПВ – 2020, мобилизационного плана экономики, поставочных договоров предприятиям оборонно-промышленного комплекса и контрактов с АО «Рособоронэкспорт».

Казанский пороховой завод - старейший в современной России. Основанный по именному указу Императрицы Екатерины II в 1788 г. завод в сегодняшних условиях диверсификации производства не изменяет своему назначению, продолжает совершенствовать производство порохов и метательных зарядов для стрелкового, авиационного, морского оружия и сборку выстрелов к большой номенклатуре артиллерийского, танкового вооружения и к средствам ближнего боя, оставаясь верным своей исторической миссии – **Служению государству Российскому**.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р.Н.Яруллин, Х.З.Гиниятов, Е.Л.Матухин Модернизация и развитие производственно-технологической базы Казанского порохового завода // Сб. материалов V научной конференции 4-7 июня 2007 г. «Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения». г. Саров. 2007 г.

2. Р.Н.Яруллин, Х.З.Гиниятов., Е.Л.Матухин Диверсификация производства на Казанском пороховом заводе // Научно-технический журнал «Боеприпасы и спецхимия», выпуск №2. 2007 г.

3. Х.З. Гиниятов, Р.Н.Яруллин, Е.Л. Матухин Вектор реструктуризации научно-прикладного сектора технологических исследований // Научно-технический сборник «Боеприпасы», № 1, 2007. – 64 с., - С. 12 – 14.

4. Х.З. Гиниятов, Р.Н. Яруллин, Е.Л. Матухин Казанский казенный пороховой завод: Традиции и инновации // Современные проблемы специальной технической химии: Матер. Докл. Пленарное заседание. Секция 1-3. – Казань: Изд-во Казан. Гос. ун-та, 2007.-464 с. С.15-21.

5. Х.З. Гиниятов, Р.Н. Яруллин Р.Н., Е.Л. Матухин Казанский казенный пороховой завод: Традиции и инновации // Вестник Казанского

технологического университета: специальный выпуск.- Казань: Изд-во Казан. Гос. ун-та, 2008.-198 с. С.126-132.

6. Р.Н.Яруллин, Х.З. Гиниятов, Е.Л.Матухин Модернизация производства порохов и зарядов на Казанском пороховом заводе. // Вестник Казанского технологического университета: специальный выпуск.- Казань: Изд-во Казан. Гос. ун-та, 2008.- 198 с. С.137-142.

7. И.А.Абдуллин, Х.З.Гиниятов, А.И.Туюшева, Е.Л.Матухин. Р.Н. Яруллин Вступление Казанского порохового завода в ассоциацию Европейских производителей нитратов целлюлозы // Вестник КНИТУ, 2012.- № 9, с.215-217.

8. Туюшева А.И., Матухин Е.Л., Абдуллин И.А. Внутрифирменное обучение персонала бережливому производству как ресурс развития промышленного предприятия // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. - № 5. – С. 269-274.

9. Матухин Е.Л., Абдуллин И.А., Туюшева А.И., Сафина Г.И. Внутрифирменная подготовка персонала в области качества продукции на основе компетентностного подхода / Матухин Е.Л., Абдуллин И.А., Туюшева А.И., Сафина Г.И.// Вестник Казанского технологического университета.- 2012.- № 10 – 0,5 п.л.– 500 экз.

10. Матухин Е.Л., Абдуллин И.А., Туюшева А.И., Сафина Г.И. Многоагентная технология корпоративной профессиональной подготовки специалистов в области менеджмента качества продукции / Матухин Е.Л., Абдуллин И.А., Туюшева А.И., Сафина Г.И.// Вестник Казанского технологического университета.- 2012.- № 10 – 0,5 п.л.– 500 экз.

11. Матухин Е.Л., Туюшева А.И., Чижов А.В. Проведение эксперимента по созданию функционирующего на условиях самоокупаемости центра дополнительного профессионального образования на производственно-технологической базе Федерального казенного предприятия оборонно-промышленного комплекса / Е.Л. Матухин, А.И. Туюшева, А.В. Чижов. //Боеприпасы – М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева. - 2012.- №1. -0,63 п.л. – 200 экз.

12. Матухин Е.Л., Туюшева А.И. Корпоративная подготовка персонала на основе компетентностного подхода: менеджмент качества продукции / Е.Л. Матухин, А.И. Туюшева. // Боеприпасы - М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева. - 2012. - №1. -0,6 п.л. – 200 экз.

13. Борбузанов В.Г., Ахмадуллин И.Н., Гиниятов Н.Х., Матухин Е.Л. Модернизация производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий на Казанском пороховом заводе //Боеприпасы - М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева. - 2015. - №2. -0,6 п.л. – 200 экз.

14. Туюшева А.И., Матухин Е.Л. Внутрифирменное обучение персонала в области качества на основе технологии бережливого производства //Боеприпасы - М.: ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева. - 2015. - №2. -0,6 п.л. – 200 экз.

## УСТАНОВКА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРА НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Гапоненко С.О.

Казанский государственный энергетический университет

Аннотация: Проведение любых экспериментальных исследований, связанных с измерением вибраций, невозможно без калибровки применяемых датчиков. Цель калибровки – определение чувствительности датчиков в рабочем диапазоне частот и амплитуд. Для этого разработана методика и изготовлена установка с унифицированным пакетом прикладных программ в программной среде LabVIEW.

Ключевые слова: виброакустический сигнал, резонансная частота, полезный сигнал, спектр, пьезоэлектрический датчик, вибрация, амплитуда.

Abstract: Carrying out any experimental studies related to the measurement of vibration there are impossible without calibrating of sensors. The objective of calibration is to determine the sensitivity in the operating range of frequencies and amplitudes. For this purpose developed a technique and assembled the device with unified software package in LabVIEW programming environment.

Keywords: vibroacoustic signal, resonant frequency, wanted signal, range, piezoelectric sensor, vibration, amplitude.

Для получения достоверных результатов при измерении параметров колебаний исследуемого объекта необходимо знать калибровочные параметры применяемых датчиков. Основной целью калибровки пьезоэлектрических преобразователей является определение чувствительности в рабочем диапазоне частот и амплитуд. Для этих целей разработана и изготовлена установка для калибровки пьезоэлектрических преобразователей. Принципиальная структура установки приведена на рисунке 1.

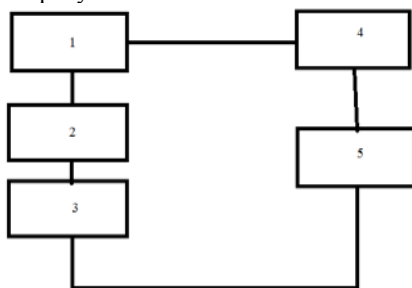


Рис. 1 Структурная схема установки:

1 – вибростенд; 2 – усилитель колебаний звуковой частоты; 3 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 4 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 5 – ПК для регистрации и дальнейшего анализа выходных параметров датчиков

На рисунке 2 представлена фотография установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков.



Рис. 2 Фотография установки:

1 – вибростенд; 2 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 3 – усилитель; 4 – ПК

Вибростенд предназначен для создания регулируемого воздействия на калибруемые пьезодатчики. Вибростенд состоит из: массивного основания 1; подвижной пластины 5 и направляющей системы 2 (рис. 3).

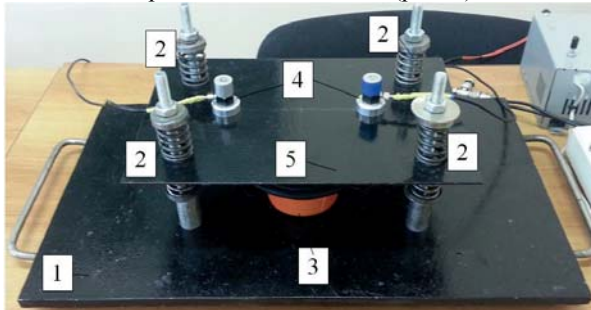


Рис. 3 Фотография вибростенда:

1 – массивное основание; 2 – пружина с направляющим стержнем; 3 – электроакустический излучатель; 4 – пьезоэлектрические датчики; 5 – подвижная пластина

Массивное основание представляет собой металлическую плиту, которая снабжена ручками для переноса и опорами для установки на ровную поверхность. За счет большой толщины основания предотвращаются появления нежелательных колебаний в самом основании, так как это может привести к потере достоверности результатов измерений [1].

На массивном основании устанавливается система направляющих для подвижной пластины. Она представляет собой 4 шпильки, на которых размещены 8 одинаковых пружин с одинаковыми параметрами. Шпильки заворачиваются в специально предназначенные отверстия в массивном основании. Подвижная пластина представляет собой лист стали, толщиной 1,2 мм. Она предназначена для установки на нее калибруемых датчиков. Благодаря системе упругих направляющих, она может совершать колебания по оси

чувствительности калибруемого датчика. Между массивным основанием и подвижной пластиной устанавливается генератор колебаний, представляющий собой электроакустический излучатель. В качестве генератора звуковой частоты используется ЭВМ с ЦАП и программным обеспечением с возможностью регулировки частоты и амплитуды сигнала в широком диапазоне. Калибруемые датчики устанавливаются на подвижной пластине с помощью магнитов. Чувствительность датчиков определяется соотношением параметров входного сигнала, прикладываемого к датчику генератором колебаний и выходного сигнала датчиков. При этом датчики устанавливаются таким образом, чтобы их ось чувствительности совпадала с направлением колебаний, возбуждаемых акустическим излучателем с помощью регулируемого воздействия, амплитуда и частота которого лежат в пределах соответствующих диапазонов датчиков [1-5].

С целью исключения влияния собственных частот вибростенда необходимо произвести их расчет.

Для обеспечения работы установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков, в программной среде LabVIEW разработана прикладная программа «Калибровка пьезодатчиков» [2-5]. Структурная схема представлена на рис. 4.



Рис. 4 Структурная схема программы

Генератор колебаний предназначен для создания сигналов требуемой частоты и амплитуды. Сигнал из генератора колебаний направляется на электроакустический излучатель, установленный под подвижной пластиной вибростенда. Под действием электроакустического излучателя, подвижная пластина начинает вибрировать с частотой колебаний излучателя. На подвижной пластине на одинаковом расстоянии от центра пластины устанавливаются пьезоэлектрические датчики. При этом датчики устанавливаются таким образом, чтобы ось чувствительности совпадала с направлением колебаний, создаваемых электроакустическим излучателем. С помощью контролируемого регулируемого воздействия, амплитуда и частота которого лежат в пределах соответствующих диапазонов датчиков, они генерируют электрический сигнал пропорционально величине создаваемых колебаний. Выходные значения преобразуются в аналогово-цифровом преобразователе для дальнейшей регистрации и анализа данных (рис. 5, а) [6].

Для анализа характеристик датчиков создана подпрограмма «Осциллограф» (рис. 5, б).

При воздействии на датчики одинаковых колебаний, амплитуда выходных колебаний должна быть одинакова. Для этого сигналы датчиков можно скорректировать с помощью встроенного усилителя. При этом, величина амплитуды выходных колебаний калибруемого датчика должна совпасть с величиной амплитуды контрольного датчика [7].

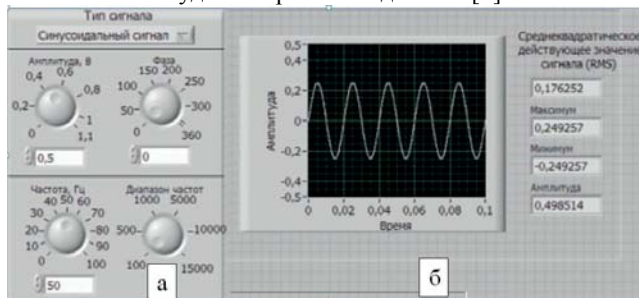


Рис. 5 Панель управления подпрограмм (а – «Генератор сигналов» и б «Осциллограф»)

Результаты, полученные с помощью установки для калибровки прибора низкочастотного виброакустического контроля показали возможность калибровки любых пьезоэлектрических датчиков в диапазоне частот выше 100 Гц. При калибровке датчиков на частоте менее 100 Гц необходимо учитывать искажения, связанные с собственными модами колебаний вибростенда.

### Список использованной литературы

1. Gaponenko S.O., Kondratiev A.E., Zagretdinov A.R. « Low-frequency Vibro-acoustic Method of Determination of the Location of the Hidden Canals and Pipelines». International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016, Procedia Engineering 150 (2016) 2321-2326.
2. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. «Модельная установка для разработки способа определения местоположения скрытых трубопроводов». «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». Казань: КГЭУ, №7-8, С.123-129, 2014 г.
3. Гапоненко С.О. «Варианты регистрации и анализа полезного виброакустического сигнала в программном продукте LabVIEW». «Вестник Северо-Кавказского федерального университета». Ставрополь, СКФУ, №5(44), С.8-15, 2014 г.
4. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. «Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом». «Вестник Северо-Кавказского федерального университета». Ставрополь, СКФУ, №2(47), С.8-15, 2015 г.



5. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. «Измерительно–диагностический комплекс для определения расположения скрытых трубопроводов». «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». Казань: КГЭУ, №3-4, С.138-141, 2013 г.

6. Кондратьев А.Е., Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Хафизов Р.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015613009: Программный комплекс для калибровки пьезоэлектрических преобразователей / от 27 февраля 2015 г.

7. Кондратьев А.Е., Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Самарханов А.Р. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612970: Программный комплекс для универсального калибровочного стенда / от 27 февраля 2015 г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЦЕПИ МАРКОВА**

Гильманшин Искандер Рафаилович  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, 18  
Кирпичников Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
420015, Казань, ул.К.Маркса, 68

Аннотация:

В результате исследования алгоритма функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь доказана возможность его моделирования с помощью поглощающих сетей Маркова. Особый интерес представляет исследование вероятностных характеристик алгоритма функционирования модуля раннего выявления потерь на предмет выявления взаимосвязи показателей надежности отдельных элементов или вероятности наступления отдельных событий и вероятности передачи достоверной информации. Выявленные в ходе анализа зависимости позволяют установить пороговые значения надежностных характеристик узлов системы.

Ключевые слова:

Энергосбережение, энергоэффективность, управление, моделирование процессов энергоснабжения.

Annotation:

In the result of study of the algorithm of the functioning of the early detection module of excessive losses, it is proven the ability to model it by using absorbing Markov chains. The particular interest is in the study of probability characteristics of early detection module functioning algorithm of losses in order to identify the relationship of indicators of reliability of individual elements, or the probability of occurrence of certain events and the likelihood of transmission of reliable

information. The identified relations during the analysis allow to set thresholds reliability characteristics of the system components.

Keywords:

Energy conservation, energy efficiency, management of modeling of powersupply processes.

Неотъемлемой частью современных систем энергоснабжения являются системы учета потребления энергоносителей. В большинстве случаев их функционал расширяется за счет функций мониторинга и контроля работоспособности. Функционал мониторинга и контроля несёт в глубокий аналитический потенциал выявления внештатных ситуаций на объектах энергоснабжения и детектирование сверхнормативных потерь в сетях. Экономический эффект своевременного, раннего выявления аварийных ситуаций и локализации участков сверхнормативных потерь тяжело переоценить. Детализированный проблемно-ориентированный мониторинг и контроль энергоснабжения обеспечивает повышение показателей надежности энергоснабжения. С этой целью в системы коммерческого учета расхода энергоносителей интегрируют аналитические модули раннего выявления потерь. В ходе изучения алгоритма функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь, а так же индивидуальных признаков внештатных ситуаций возникает вопрос оценки степени влияния последних на качество передаваемой информации. Необходимо выявить взаимосвязь вероятностей наступления внештатных ситуаций и вероятности передачи полноценных данных. Исследование признаков признаков внештатных ситуаций позволяет утверждать о стохастическом характере последних.

Детальное исследование алгоритма функционирования модуля раннего обнаружения потерь позволяет отнести его к Марковским процессам [1, 2, 3]. Что, в свою очередь, создает предпосылки к применению существующих методик анализа алгоритма как Марковского процесса[6, 8].

Анализ алгоритма функционирования как Марковского процесса сводится к трем этапам. На первом этапе производится формализация процесса в терминах математического аппарата теории Марковских процессов, строится граф состояний и матрица вероятностей переходов[1]. На втором этапе, исходя из конкретной задачи, производятся необходимые математические операции, выводится взаимосвязь параметров процесса. На третьем этапе проводится окончательный расчет искомых параметров.

Представим этапы процесса анализа данных позициями, а вероятность перехода на следующий этап обозначим соответствующими переменными. Таким образом, вероятность перехода к следующему этапу будет однозначно определяться значением соответствующего индекса. Исследуемая цепь Маркова будет состоять из следующих позиций:

$S_6$  – характеризует поступление данных с прибора учета;

$S_5$  – исследование данных на предмет выявления утечки энергоносителя;

$S_4$  – этап комплексного анализа показаний приборов учета на предмет выявления некорректной работы;

$S_3$  – анализ показателей качества энергоносителя на соответствие нормативу;

$S_2$  – итоговое заключение о успешном прохождении всех этапов контроля;

$S_1$  – выявление отклонения исследуемых данных от заданного значения.

Причем состояния  $S_6, S_5, S_4, S_3$  – невозвратные состояния, формирующие собой невозвратное множество, а  $S_2$  и  $S_1$  – являются поглощающими и создают поглощающее множество. Следовательно, цепь Маркова, моделирующая алгоритм функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь, является поглощающей цепью Маркова.

По определению Г. И. Новикова поглощающая Марковская цепь содержит состояние, достигнув которого процесс уже никогда его не покинет. Графическим представлением цепи Маркова служит граф состояний, изображенный на рис 1.

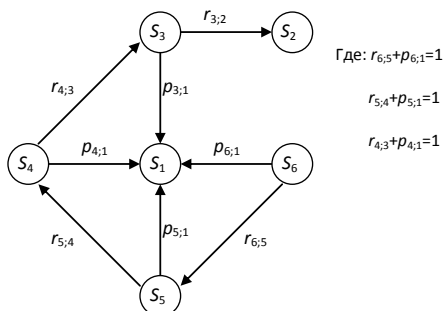


Рис. 1. Граф состояний алгоритма функционирования модуля раннего обнаружения сверхнормативных потерь

При рассмотрении матрицы переходов  $P$  удобно придать канонический вид, объединив все поглощающие состояния в одну группу, а все невозвратные состояния – в другую.

Допустим, имеется  $s$  невозвратных состояний и  $r-s$  поглощающих состояний, тогда каноническая форма матрицы  $P$  примет следующий вид:

$$P = \begin{pmatrix} S & 0 \\ R & Q \end{pmatrix}$$

Здесь область «0» составлена целиком из нулей. Подматрица  $Q$  (размерности  $s \times s$ ) описывает поведение процесса до выхода из множества невозвратных состояний, подматрица  $R$  (размерности  $s \times (r-s)$ ) отвечает переходам из невозвратных в эргодические состояния, а матрица  $S$  (размерности  $(r-s) \times (r-s)$ ) относится к процессу после достижения им эргодического множества.

Существует строгая теорема [5], утверждающая, что степени  $Q$  стремятся к нулю. Следовательно, при возведении матрицы  $P$  во все более высокие степени,

все элементы последних  $S$  столбцов будут стремиться к нулю. Это матричный вариант соответствующей теоремы.

Из определения поглощающей цепи Маркова следует, что  $S = I_{(r-s) \times (r-s)}$ , т.е.  $S$  представляет собой единичную матрицу размерности  $(r-s) \times (r-s)$ . Поэтому каноническая форма матрицы  $P$  имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} I & 0 \\ R & Q \end{pmatrix}$$

Матрица переходных вероятностей  $P$  принимает вид:

$$P = \begin{array}{c|cccccc} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ \hline S_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline S_3 & p_{3,1} & r_{3,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_4 & p_{4,1} & 0 & r_{4,3} & 0 & 0 & 0 \\ S_5 & p_{5,1} & 0 & 0 & r_{5,4} & 0 & 0 \\ S_6 & p_{6,1} & 0 & 0 & 0 & r_{6,5} & 0 \end{array}$$

Эта матрица уже имеет каноническую форму (эргодические и невозвратные состояния объединены в группы). Первые два ее состояния – поглощающие. Разобьем матрицу  $P$  на блоки  $S$ ,  $R$  и  $Q$ , размерностью  $2 \times 2$ ,  $4 \times 2$  и  $4 \times 4$ , соответственно.

Получим три подматрицы следующего вида:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; R = \begin{pmatrix} p_{3,1} & r_{3,2} \\ p_{4,1} & 0 \\ p_{5,1} & 0 \\ p_{6,1} & 0 \end{pmatrix}; Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ r_{4,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{5,4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{6,5} & 0 \end{pmatrix}.$$

Причем подматрица  $Q$  (размерности  $s \times s$ ) описывает поведение процесса до выхода из множества невозвратных состояний, подматрица  $R$  (размерности  $s \times (r-s)$ ) отвечает переходам из невозвратных состояний в поглощающие, а подматрица  $S$  (размерности  $(r-s) \times (r-s)$ ) описывает процесс после достижения им поглощающего множества.

Согласно [5], исследуя цепь Маркова можно дать количественную оценку среднему числу смен состояний процесса до поглощения. В моделируемом процессе это значение отразит среднее количество тактов пересчета алгоритма.

Для оценки вероятности окончания процесса при нахождении в текущем состоянии воспользуемся теоремой: Если  $b_{ij}$  вероятность того, что процесс, выходящий из невозвратного состояния  $S_i$ , остановится в поглощающем состоянии  $S_j$ , то

$$\{b_{i,j}\} = B = N \cdot R, \quad S_i \in T, \quad S_j \in \hat{T}.$$

Доказательство: выходя из состояния  $S_i$ , процесс может поглотиться в  $S_j$  через один или более шагов. Вероятность захвата на первом шаге равна  $p_{ij}$ . Если этого не произошло, то процесс может попасть либо в другое поглощающее состояние, либо в какое-то невозвратное состояние  $S_k$ . В

последнем случае блуждающая частица может быть захвачена нужным состоянием с вероятностью  $b_{k,j}$ . Следовательно,

$$b_{i,j} = p_{i,j} + \sum_{\substack{k=1 \\ (S_k \in T)}}^n p_{i,k} \cdot b_{k,j},$$

что в матричной форме примет следующий вид:

$$B = R + Q \cdot B.$$

Матрица  $B$  показывает вероятности окончания процесса обработки данных в том или ином поглощающем состоянии. В данном примере первый столбец раскрывает значения вероятности перехода в состояние  $S_1$  (выявление отклонения исследуемых данных от заданного значения) при нахождении в текущем состоянии графа (строка матрицы), а второй – значения вероятности перехода в состояние  $S_2$  (итоговое заключение о успешном прохождении всех этапов контроля).

Итак, комплекс полученных данных устанавливает вероятностные характеристики математической модели алгоритма функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь. Практическое применение предложенного алгоритма анализа информации возможно на основании статистических данных и экспертных оценок вероятности наступления соответствующих событий [4, 5, 7].

В результате исследования алгоритма функционирования модуля раннего выявления сверхнормативных потерь доказана возможность его моделирования с помощью поглощающих сетей Маркова. Особый интерес представляет исследование вероятностных характеристик алгоритма функционирования модуля раннего выявления потерь на предмет выявления взаимосвязи показателей надежности отдельных элементов или вероятности наступления отдельных событий и вероятности передачи достоверной информации.

Выявленные в ходе анализа зависимости позволяют установить пороговые значения надежностных характеристик узлов системы. Например, выбрав некоторое значение вероятности передачи достоверной информации, можно наложить ограничения на пороговые значения вероятностей наступления отдельных событий алгоритма, что, в свою очередь, накладывает ограничения на характеристики надежности аппаратной части системы. Кроме того, полученные результаты позволяют дать оценку влиянию характеристик надежности отдельных узлов системы на вероятность передачи достоверных данных. Помимо непосредственно значений получены формулы для вычисления дисперсии для всех групп данных. Разработанные алгоритмы имеют значительный практический потенциал как в проектировании, так и в оценке работы уже существующих систем.

## Литература

1. Кирпичников А. П. Прикладная теория массового обслуживания: учеб. пособие / А. П. Кирпичников. – Казань: Казанское математическое общество, 2007. – 150 с.

2. Басыров И. Р. Расширение сетей Петри, проблемно - ориентированное на моделирование многоассортиментных производственных систем / И. Р. Басыров // Ученые записки КФЭИ: сб. науч. трудов. Вып. 16. – Казань: КФЭИ, 2001. – С.177 – 182.
3. Кемени Дж. Конечные цепи Маркова / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М.: Наука, 1970. – 272 с.
4. Гильманшин И.Р. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: построение комплекса централизованной автоматизированной системы сбора, контроля и анализа бытового потребления энергоносителей Гильманшин И.Р., Ференец А.В. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 9-10. С. 82-88.
5. Гильманшин И.Р. Автоматизированный учет потребления энергоресурсов как условие эффективного функционирования системы ЖКХ Гильманшин И.Р., Ференец А.В. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2007. № 3. С. 18-20.4. Майоров С. А. Основы теории вычислительных систем: учеб.пособие / С. А. Майоров. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
6. Ларионов А. М. Вычислительные комплексы, системы и сети: учеб.для вузов / А. М. Ларионов, С. А. Майоров, Г. И. Новиков. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 288 с.
7. Гильманшин И. Р. Математическая модель модуля раннего выявления потерь системы контроля потребления энергоносителей / И. Р. Гильманшин // IV Тинчуринские чтения: материалы междунар. науч. конф., Казань, 22 – 24 апреля 2009 г. – Казань: КГЭУ, 2009. – Т. 1. – С. 66 – 68.
8. Венцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

## **МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА СВАЛОЧНОГО ГАЗА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПОЛИГОНОВ ТБО**

Гильманшин Искандер Рафаилевич, Кашапов Наиль Фаикович,  
Гильманшина Сурия Ирековна  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, 18  
Галеева Асия Ильдаровна

### Аннотация

В статье анализируется практика захоронения отходов ТБО в России. Формализуется система целевых показателей эффективного функционирования полигонов. Представлена методика проведения инструментального анализа концентрации и качественного состава свалочного газа в поверхностном слое полигона ТБО «Самосырово»

Ключевые слова:

свалочный газ, когенерация, энергокомплекс, экология, менеджмент отходов, биомасса.

Annotation:

The practice of solid waste utilization in Russia is analyzed in the article. The system of target indicators of the efficient functioning of landfills is formalized. The method of instrumental analysis of the concentration and qualitative composition of the landfill gas in the surface layer of the landfill "Samosyrovo" is presented.

Keywords: landfill gas, cogeneration, energycomplex, ecology, waste management, biomass

По состоянию на 2014 г. в Российской Федерации образовалось 5 168,3 млн.т. отходов производства и потребления.[1] Из общего объема ежегодно образующихся отходов порядка 60 млн.тонн – ТБО, из них результат жизнедеятельности населения – порядка 50 млн. тонн, и 10 млн. тонн отходов предприятий. Ежегодный прирост объемов отходов составляет – 3-4%. [2]. Кроме того согласно статистике удельные объемы образования отходов в России составляют 350 кг/чел. в год что существенно ниже, чем в среднем по Европе (503 кг/чел. в год), и даже чем в странах ЕС-12 (420 кг/чел.), уровень доходов населения которых близок к российскому. [3]

По сложившейся практике практически весь объем ТБО складывается на полигонах и свалках, и только 4-5% отходов вовлекается в переработку. Низкий процент вовлечения ТБО в переработку связан с отсутствием достаточного количества предприятий по утилизации (переработке) отходов и объектов размещения отходов. Всего в России зарегистрировано 1092 специально обустроенных мест под размещение отходов (полигонов ТБО), что в разы меньше, чем даже санкционированных свалок, которых насчитывается около 10 тыс. Согласно данным Росприроднадзора в 45% субъектов Российской Федерации проектная мощность полигонов ниже установленных ежегодных норм накопления отходов. Что определяет предпосылки реформирования отрасли обращения, переработки, утилизации и захоронения отходов в Российской Федерации. Сложившаяся система управления отходами нуждается в оперативной корректировке с учетом общемировых мировых тенденций.

При системной модернизации системы обращения с отходами в качестве целевых показателей необходимо установить:

- долю отходов направляемых на захоронение в совокупной объеме образующихся отходов,
- ущерб окружающей среде связанный с выведением земель из оборота, загрязнением окружающей среды,
- энергоемкость процесса захоронения и последующей рекультивации полигона.

Условие оптимизации данных критериев комплексно определяет эффективность системы обращения с отходами.

Рассмотрим выбранные критерии.

1. Доля отходов направляемых на захоронение в совокупном объеме образующихся отходов. Образование отходов неразрывно связано с процессом жизнедеятельности человека. Причем рост благосостояния и развитие экономики лишь увеличивают объем образующихся отходов. Поэтому системы тотального захоронения отходов с полным объемом неизбежно приводит к повышенным издержкам связанным с организацией площадок захоронения отходов, их содержанием и рекультивацией. Параллельно выводятся из оборота земельные участки непосредственно занятые полигонами и ограничивается сфера использования прилегающих участков. Существующие механизмы оптимизации предполагают предварительное сегментирование (в т.ч. раздельный сбор), механическую модификацию состояния и формы отходов (прессование) и проблемно-ориентированные методы воздействия определяющие уменьшение объемов и степени агрессивности отходов направляемых на захоронение (термическое, химическое, микробиологическое и т.д.).

2. Ущерб окружающей среде. Морфологический состав отходов наряду с системой захоронения определяют интенсивное, непрерывное негативное воздействие на окружающую среду. Фильтраты, эмиссия вредных веществ и газов в почву и атмосферу нуждаются в мониторинге и комплексе компенсационных мер. Причем высокая эффективность защитных мероприятий может быть достигнута лишь при учете требований экологической безопасности на всех стадиях жизненного цикла полигона.

3. Энергоемкость процесса захоронения и последующей рекультивации полигона. Высокие материальные и энергетические затраты связанные с реализацией комплексных мер по эффективному управлению полигонами сдерживают их (мер) полную реализацию. Вместе с тем затратными эти мероприятия выглядят лишь на первый план.

Безусловно обособленная оценка эффективности отдельных мер как правило не выявляет их инвестиционной привлекательности. Однако при комплексном, системном рассмотрении эффекта с учетом косвенных положительных факторов экономическая эффективность проекта принципиально меняется.

В качестве объекта исследования выбран: Полигон ТБО «Самосырово». Полигон, состоит из 4-х карт захоронения. Первая карта – экспериментальная площадка – захоронения заполнена полностью и подлежит рекультивации и дегазации. Расчетный срок заполнения первой карты складирования отходов 6 лет. Годы начала и завершения эксплуатации первой карты – 2004 – 2009г. Проектная вместимость первой карты: 937 872 тн. (5 345 780м<sup>3</sup>). Площадь первой карты полигона - 4,44 га. Высота полигона, м высота призмы захоронения первой карты 26 метров от поверхности земли. Способ захоронения отходов: глиняный карьер песчаный - насыпь с равномерной укладкой. карьер насыпь – насыпь. Морфологический состав отходов на первой карте: отходов потребления 562 713,68 м<sup>3</sup> (98 721,7 тн), производственных отходов 2 138 349 м<sup>3</sup> (375 149 тн). Класс опасности складированных отходов: преимущественно 3 - 4 класс опасности. Условия и способ размещения отходов



степень - насыпь с равномерной укладкой отходов, уплотнением, послойной пересыпкой грунтом с шагом слоёв по высоте 2 метра. Толщина пересыпки слоёв 250 мм.

На основе анализа исходных данных по полигону был сформулирован предварительный план проведения работ по оценке энергетического потенциала первой карты полигона ТБО:

1 Инструментальное исследование качественного состава свалочного газа в поверхностном слое 1 карты полигона ТБО

2 Определение количественных параметров эмиссии свалочного газа с поверхности полигона

3 Исследование количественных и качественных характеристик свалочного газа отводимого посредством обустройства скважин. Исследование фактического морфологического состава отходов в теле полигона в реперных точках.

4 Построение модели процесса метаногенеза в теле полигона и оценка энергетического потенциала первой карты полигона ТБО

Инструментальное исследование качественного состава свалочного газа в поверхностном слое 1 карты полигона ТБО.

Инструментальное исследование качественного состава свалочного газа в поверхностном слое 1 карты полигона ТБО проводилось с применением аналитического зонда забора проб качественного состава свалочного газа в поверхностном слое тела полигона с глубины 500мм.

В качестве газоанализатора применялся прибор комплексного анализа качественного состава газообразных сред **GeotechGA2000** производства **Keison Products, England**.

Исходя из установленного радиуса охвата точки забора проб равного 20 метрам был произведен анализ 23 проб.

Результаты анализа представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 Содержание метана на полигоне, в %

Ряд 6	Ряд 5	Ряд 4	Ряд 3	Ряд 2	Ряд 1
-	3,8	2,5	12,4	20	16,8
0,9	1,3	0,6	19,3	2,1	0,3
0,7	0,6	0,4	0,3	0,6	0,3
0,4	1,5	1,4	0,3	0,7	0,3

Таблица 2 Содержание углекислого газа на полигоне, в %

Ряд 6	Ряд 5	Ряд 4	Ряд 3	Ряд 2	Ряд 1
-	21,5	0,4	18	30,8	25,2
4,4	0,8	1,4	30,5	2,3	5,9
4,8	0,4	0,2	13,9	10,4	3
10,7	0,8	15,1	10	7,2	21,3

Таблица 3 Содержание кислорода на полигоне, в %

Ряд 6	Ряд 5	Ряд 4	Ряд 3	Ряд 2	Ряд 1
-	2,6	12,3	7,1	2	1,8
12,4	13,9	14,4	1,7	12,8	10,5
12,1	15	15	5,8	8,4	12,5
8,7	13,6	5,7	8,2	10,8	1,9

Таблица 4 Содержание углекислого газа на полигоне, в ppm

Ряд 6	Ряд 5	Ряд 4	Ряд 3	Ряд 2	Ряд 1
-	31	55	96	134	52
23	24	40	112	60	21
29	25	33	19	34	22
21	31	75	16	27	27

В ходе анализа результатов исследования качественного состава свалочного газа в поверхностном слое 1 карты полигона ТБО установлены повышенная (до 20%) концентрация метана в северо-восточной части карты 1 полигона; значительная неравномерность распределения концентрации метана в поверхностном слое верхней площадки первой карты полигона; наличие локальных участков (пузырей/полостей) повышенной (до 60%) концентрации метана в теле первой карты полигона; поверхностный слой первой карты полигона имеет неравномерный слой пересыпки, на ряде участков толщина слоя пересыпки превышает 500мм; актуальный этап жизненного цикла органических включений в теле первой карты полигона позволяет продолжить исследования количественных параметров эмиссии свалочного газа в атмосферу; актуальный этап жизненного цикла органических включений в теле первой карты полигона позволяет положительно рассматривать вопрос целесообразности построения энергокомплекса на свалочного газа, однако полученных данных недостаточно для всесторонней оценки энергетического потенциала.

### Литература:

1. Brown K.A., Maunder D.H. Using landfill gas: A UK perspective *Renewable Energy*, 5 (5-8), 1994, p. 774-781.
2. Machado S.L., Carvalho M.F., Gourc J.-P., Vilar O.M., do Nascimento J.C.F. Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results // *Waste Management*, 29 (1), 2009, p. 153-161.
3. Общемировой объем выбросов метана и возможности его сокращения // [GlobalMethaneInitiative \(GMI\) URL: https://www.globalmethane.org/documents/analysis\\_fs\\_rus.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_rus.pdf) (дата обращения 19.03.2013г.).

4. Thompson S., Sawyer J., Bonam R., Valdivia J.E. Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills // *Waste Management*, 29 (7), 2009, p. 2085-2091.

5. Themelis N.J., Ulloa P.A. Methane generation in landfills // *Renewable Energy* Volume 32, Issue 7, June, 2007, p. 1243-1257.

6. И.Р.Гильманшин Биоорганические отходы Республики Татарстан: особенности и перспективы утилизации с учетом регионального аспекта // *Современные проблемы глобализации мирового хозяйства и социально-культурного развития человека: материалы докладов итоговой научно-практической конференции.* – Казань: «Отечество», 2014. с. 74-76.

7. Азимов Ю.И., Галеева А.И., Гильманшин И.Р., Гильманшина С.И., Ференец А.В. Инновационные способы переработки отходов производства и потребления с получением продукции с высокими эксплуатационными свойствами // «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2014» материалы научно-технической конференции. – Ч.1. – Казань, 2014. с. 180-184.

8. Multriwell® durable gas ecstraction // Multriwell URL: <http://interactivepdf.uniflip.com/2/74963/290615/pub/> (дата обращения 19.03.2013г.).

9. N.F.Kashapov, I.R.Gil'manshin, I.A.Konahina. System analysis of the energy complex of engineering enterprise as a basic tool of effective energy management // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Bristol-UK. Vol.69, Conf.1, December 2014.

10. I.R.Gil'manshin, N.F.Kashapov. Energy service contracts in regional engineering center for small and medium businesses // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Bristol-UK. Vol.69, Conf.1, December 2014.

11. Asiya Galeeva, Nafisa Mingazova, Iskander Gilmanshin. Sustainable Urban Development: Urban Green Spaces and Water Bodies in the City of Kazan, Russia // *Mediterranean Journal of Social Sciences* MCSER Publishing, Rome-Italy. Vol. 5, No. 24, November 2014. p. 356-360.

12. Ш.М.Валитов, И.Р. Гильманшин Финансовый контроль хода реализации программ повышения энергоэффективности образовательных учреждений // *Казанский экономический вестник.* – Казань: «Издательство КФУ», 2014 № 3 (11).с. 44-51.

УДК 621.3.078

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОДУКЦИИ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ КТК-800

Долгих Артём Сергеевич – инженер по испытаниям ПАО ААК «ПРОГРЕСС»,  
студент 2-го курса очной магистратуры ИрГУПС;

Александрова Наталья Юрьевна, студентка филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;

Попова Ирина Сергеевна, студентка филиала ДВФУ в г. Арсеньеве.

Научные руководители: Гасельник Владимир Валерьевич – доцент кафедры  
«Физика, механика и приборостроение» ИрГУПС; Денисенко Юрий Петрович  
– управляющий директор ПАО ААК «ПРОГРЕСС»; Бердиев Олег Шамильевич  
– заместитель директора филиала ДВФУ в г. Арсеньеве по НИР и развитию  
e-mail: berdiev553@mail.ru

Публичное акционерное общество «Арсеньевская авиационная компания  
«Прогресс» им. Н.И. Сазыкина» (ПАО ААК «ПРОГРЕСС»),  
692335, Приморский край, г. Арсеньев, пл. Ленина, 5

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования "Иркутский государственный  
университет путей сообщения " (ФГБОУ ВПО ИрГУПС), ул. Чернышевского,  
15, г. Иркутск, 664074 [www.iguit.irk.ru](http://www.iguit.irk.ru)

Филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет» в г. Арсеньеве  
ул. Островского, д. 20, г. Арсеньев, 692331

**Аннотация:** Рассматривается вариант исследования климатической  
камеры КТК-800 для упрощения производства испытательного контроля и  
автоматизации выполняемых процессов. Проведённым анализом выявлена  
необходимость применения измерителя-регулятора температуры и влажности  
типа МПР51-Щ4 для автоматизации испытательного контроля климатической  
камеры КТК-800. Для автоматизации климатической камеры предметно  
рассмотрен функционал МПР51-Щ4, его связь с компьютером и совместимость  
работы с климатической камерой.

*Ключевые слова:* КТК-800, автоматизация, МПР51-Щ4, связь с  
компьютером.

### Введение

Климатическая камера КТК-800 предназначена для имитации параметров  
окружающей среды, при испытании детали летательного аппарата (ЛТА), на  
воздействие агрессивных климатических условий, а именно повышенной  
влажности и при различном температурном фоне: от повышенного до  
пониженного. При обнаружении коррозии или искажении характеристик  
изделия или иных дефектов проявляющихся после испытаний, партию деталей

ЛА бракуют. Подобный подход позволяет оценить качество коррозионной устойчивости в суровых климатических условиях.

Программа испытаний:

- 1) Программу испытаний деталей ЛА задает технолог. Пример программы выглядит следующим образом:
- 2) Набор температуры до 25<sup>0</sup>С и увеличение относительной влажности до 95% в течении 2-х часов
- 3) Выдержка параметров 1-ого шага в течении 8-ми часов.
- 4) Набор температуры до 55<sup>0</sup>С и влажность 95% за 2 часа.
- 5) Выдержка параметров 3-его шага 10 часов.
- 6) Выход параметров 1-ого шага за 2 часа.

И так 9 циклов

### **Недостатки климатической камеры КТК-800**

Возможность климатической камеры КТК-800 только выход на определенную температуру и определенную относительную влажность, и выдерживать параметры определенное время. Переход на следующий шаг программы испытания осуществляется вручную, что создает неудобства проведения испытаний. Параметры испытания записываются с помощью самописца на бумажный носитель, что не позволяет оперативно анализировать график «в срочных условиях».

Требуется автоматизировать климатическую камеру КТК-800 и выводить параметры испытаний в цифровом виде.

### **МПП51-Щ4**

- 1) Прибор МПП51-Щ4 предназначен для управления многоступенчатыми температурно-влажностными режимами технологического процесса.
- 2) Основные функции прибора:
- 3) Измерение температуры при помощи термометров сопротивления.
- 4) Измерения относительной влажности воздуха при помощи датчика психометрического типа.
- 5) Регулирование температуры и влажности по трем независимым каналом.
- 6) Задание программы регулирования с защитой её от несанкционированного доступа.
- 7) Сигнализация об обрыве или коротком замыкании в линии «прибор-датчик».
- 8) Регистрация контролируемых параметров на компьютере.

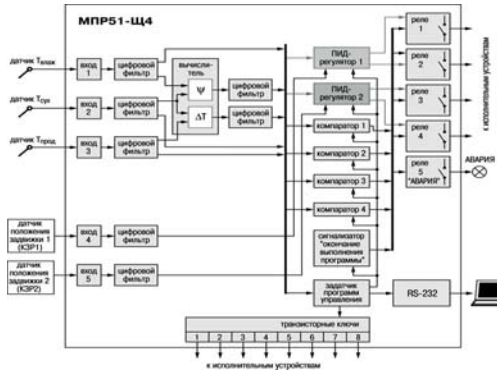


Рисунок 1. МПП51-Щ4 внутреннее устройство

### Устройство МПП51-Щ4

Датчики температур  $T_{вж}$ ,  $T_{сух}$ ,  $T_{прод}$  (влажный, сухой, продукта) выдают сигнал, который преобразуется в цифровом виде в цифровом фильтре. Цифровой сигнал поступает на вычислитель, который высчитывает необходимые параметры для регулирования, а именно относительную влажность и разность показаний термометров влажного и сухого. Все показания приходят на внутренний процессор, где уже задана программа технологического процесса. Исходя из показаний датчиков и программы, процессор начинает регулировать температуру и влажность внутри камеры каналами реле. Реле подключаются к исполнительным устройствам: электронагревателю, холодильнику и парогенератору. На рисунке 1 изображено внутреннее устройство МПП51-Щ4.

Вывод показаний прибора на компьютер осуществляется схемой подключения «токовая петля» (см. рисунок 2). Прибор подключается к преобразователю АС2, а АС2 к компьютеру через COM-порт. К такому преобразователю возможно подключить до 8 приборов, что позволяет просматривать и сохранять показания 8-ми климатических камер одновременно. Так же существуют другие схемы подключения до 256 подключаемых приборов [2].

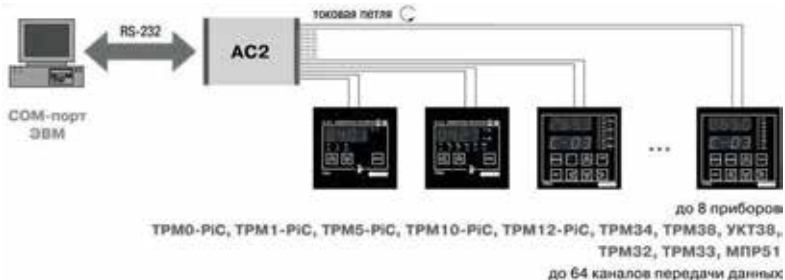


Рисунок 2. МПП51-Щ4 к компьютеру

### **Выводы**

В климатической камере создаются такие же условия климата, что описано в программе технолога, и одновременно регистрируются параметры на компьютер. Показания прибора можно преобразовать в виде графиков, что позволяет проанализировать качество испытания.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1) Измеритель-регулятор температуры и влажности МПП51-Щ4. Руководство по эксплуатации, издательство ОВЕН, 2011.-91с.
- 2) АС2 Адаптер интерфейса Руководство по эксплуатации, издательство ОВЕН, 2011.-16с.
- 3) Климатическая камера КТК-800. Руководство по эксплуатации, издательство ИЛКА, 1980.-28с.
- 4) Паспорт климатической камеры КТК-800. Чертежи
- 5) ГОСТ 2.755-87 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.- Введ. 1988.- 01.-01.- режим доступа: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_275587\\_ESKD\\_Oboznacheniya.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_275587_ESKD_Oboznacheniya.html)
- 6) Г.В.Архипов. Автоматическое регулирование вентиляции кондиционирования воздуха. Библиотека по автоматике выпуск 26. Государственное энергетическое издательство Москва Ленинград 1961.- 176 с.

УДК 621.3.078

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА ОТРАБОТКИ ГИДРОСИСТЕМ ВЕРТОЛЕТА КА-52**

Дорошенко Григорий Александрович – инженер по испытаниям ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент 2-го курса очной магистратуры ИрГУПС;  
Лефи Алексей Альфредович, конструктор службы главного конструктора ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;  
Суднищиков Дмитрий Викторович, студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве.  
Научные руководители:  
Мухачев Юрий Сергеевич – доцент кафедры «Физика, механика и приборостроение» ИрГУПС;  
Денисенко Юрий Петрович – управляющий директор ПАО ААК «ПРОГРЕСС»;  
Бердиев Олег Шамильевич – заместитель директора филиала ДВФУ в г. Арсеньеве по НИР и развитию, e-mail: berdiev553@mail.ru

Публичное акционерное общество «Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина» (ПАО ААК «ПРОГРЕСС»),  
692335, Приморский край, г. Арсеньев, пл. Ленина, 5  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Иркутский государственный

университет путей сообщения " (ФГБОУ ВПО ИрГУПС), ул. Чернышевского,  
15, г. Иркутск, 664074 www.irgups.ru

Филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет» в г. Арсеньеве  
ул. Островского, д. 20, г. Арсеньев, 692331

**Аннотация:** Описаны исследования применяющегося в серийном производстве испытательного оборудования, анализ ситуации и предложения по модернизации стенда отработки гидросистем вертолета Ка-52, с целью повышения ресурса. Изложены результаты проведенного сравнительного анализа условий работы стенда по ресурсу и предложения по дальнейшей работе со стендом.

*Ключевые слова:* ресурс, гидросистема, отработка, промывка, расходомер.

**Введение.** Гидросистема вертолета Ка-52 состоит из двух гидравлических систем – основной и общей, пневмосистемы наддува гидробаков и бака спиртовой системы, а также герметизации кабины. Основная гидросистема предназначена для обеспечения работы блока рулевых приводов и аварийного выпуска шасси при выходе из строя общей гидросистемы. Общая гидросистема дублирует питание блока рулевых приводов при выходе из строя основной гидросистемы, обеспечивает уборку-выпуск шасси, работу тормоза колес. Стенд предназначен для заправки и отработки гидросистем с одновременной их промывкой (за счет стендовых фильтров) [1]. Стенд показан на рисунке 1.

С ростом объемов производства и, соответственно, количества обслуживаемых летательных аппаратов, выявился определённый недостаток ресурса гидростендов и появилась потребность по технологическому совершенствованию нескольких технологических операций.

При проведении настоящего исследования было решено отказаться от использования устаревших технических решений, отдельных комплектующих, таких как: ременная передача с двигателя на насос, использование трансформатора, отсутствие регулировки оборотов двигателей. Замена и доработка всего перечисленного на современные решения – должны значительно повысить надежность применения стенда, и сделают работу с ним более производительной.

**Постановка задачи.** Модернизация стенда с целью увеличения ресурса, автоматизации процесса по отработке гидросистемы. В модернизируемом стенде ранее использовалась ременная передача между двигателями и насосами, это повышало нагрузку на агрегаты, требовало долгого и трудного



Рисунок 1. Стенд отработки гидросистем вертолетов Ка-52 для проведения модернизации



обслуживания и ремонта, кроме того, такой тип связи являлся источником повышенной вибрации и шума. Существенное снижение вибрации и шума значительно сократит вредное воздействие - уровень шума более 90 дБА, на работающий со стендом персонал и сделает работу с ним комфортнее. Для решения этой проблемы принято решение изменить тип соединения на прямой. Установка преобразователя частоты векторного даст двигателям плавный выход на заданные обороты с возможностью регулировки, что обеспечит более мягкие условия работы двигателей и насосов. Замена лампы наличия сети на световой индикатор фаз позволит избежать не доключения фаз, что является причиной перегрева и выхода из строя двигателей. Замена трансформатора ТБС2-01 на блок питания БП-30Б-Д3-24 необходима для более надежной работы системы питания приборов контроля температуры ТУЭ-48.

**Решение задачи.** Замена ременного привода на прямой позволит избавиться от лишних нагрузок на агрегаты, значительно снизить вибрацию и уровень шума, существенно повысить надежность стенда. Установка преобразователя частоты векторного позволит



Рисунок 2. Стенд отработки гидросистем вертолета Ка-52 после модернизации

двигателям постепенно выходить на требуемые обороты и даст возможность регулировать давление в гидросистеме, что исключит перегрев и протекания масла. Для этого выбран преобразователь частоты векторный INNOVERT. Замена лампы «Сеть» на световой индикатор фаз ИЕК позволит контролировать состояние всех фаз сети. В электрическую схему при отработке и промывке каждой системы включены приборы контроля температуры масла АМГ-10 – ТУЭ-48, которые нуждаются в стабилизированном источнике пониженного питания постоянного тока – 27В. Простые нерегулируемые источники питания типа трансформатор и выпрямитель – не совсем удобны, поскольку они занимают много места, нуждаются в отдельной системе защиты в случае пробоя вторичной обмотки трансформатора на корпус, и кроме того, создают дополнительные неудобства при необходимости ремонта или замены выпрямителя в условиях эксплуатации [2]. Исходя из проведенного анализа предложено: заменить трансформатор ТБС2-01 на блок питания БП-30Б-Д3-24 для питания приборов контроля температуры гидрожидкости, а также установить преобразователь частоты векторный, который обеспечит плавное управление двигателями, а значит и насосами. Внесенные изменения позволят повысить надежность, и автоматизировать работу стенда [3, 4]. Замена ременного привода насосов на прямой и установка преобразователя частоты векторного INNOVERT потребовали внесения изменений в конструкцию корпуса стенда. На рисунке 2 показан стенд отработки гидросистем вертолетов Ка-52 после модернизации.

**Выводы.** В результате анализа и выполненной работы - произведена конструктивная модернизация стенда отработки гидросистем вертолета Ка-52, увеличивающая его ресурс, повышена общая надежность стенда, снижены габариты. Замена ременной передачи на прямой привод позволила существенно снизить вибрацию и уровень шума, что значительно сократило вредное воздействие на работающий со стендом персонал и сделало работу с ним комфортнее. Установленный блок питания для приборов контроля температуры гидрожидкости, а также установка преобразователя частоты векторного, который обеспечит плавное управление двигателями, а значит и насосами, позволили автоматизировать работу стенда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция № 4230-Т-2001 по обслуживанию и эксплуатации гидравлического стенда для отработки и промывки гидросистемы вертолетов, ОАО «Камов», Москва, 2001
2. Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл. ИСКУССТВО СХЕМОТЕХНИКИ В 2-х томах, Том I, М.: Мир, с. 284-600
3. Расходомер-счетчик турбинный РСТ. Руководство по эксплуатации ЛГФИ.407221.008 РЭ, ОАО Арзамасский Приборостроительный завод, 42 1321
4. Преобразователь расхода турбинный ТПР. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 4Е2.833.095 ТО, ОАО Арзамасский Приборостроительный завод, ОКП 42 1281

### **КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОПУТНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВОГО АВТОКОМПОНЕНТА**

Касьянов С.В., Сафаров Д.Т., Сафарова Л.Р.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

Представлен подход к минимизации воздействия автомобильного производства на природную среду, снижению расхода ресурсов и потерь за счет адекватного планирования объемов порождения отходов на рабочих местах и разработки процессов их жизненного цикла на стадии подготовки производства автокомпонента.

An approach to minimize the impact of automotive production on the environment, reduce the consumption of resources and the losses due to the adequate planning of waste generation volumes in the workplace and the development processes of their life cycle in preparation of production of automotive components.

Ключевые слова: попутные продукты, отходы, планирование, управление отходами, проект подготовки производства.

Мировое сообщество все острее понимает, насколько важно сегодня производить продукцию с минимальным расходом ресурсов и минимальным воздействием на природную среду в ходе текущей деятельности основные субъекты отрасли – предприятия–поставщики автокомпонентов самостоятельно осуществляют ряд локальных проектов по подготовке производства к выпуску нового продукта. Каким образом можно помочь им предупредить нарушения экологических требований?

По российским отраслевым стандартам технологическая подготовка производства была ранее нацелена в основном на подготовку процессов, необходимых для обеспечения заданного качества товарных изделий. Требования к процессам излагались в стандартизованных комплексах технологической документации. Внедрение на предприятиях–поставщиках автокомпонентов отраслевой СМК по требованиям ISO/TS16949 [1] вынудило дополнять эти комплекты документами и записями, необходимыми уже для регулирования значений ключевых показателей качества.

Система экологического менеджмента [3] нацелена на поддержание допустимого уровня воздействия на окружающую среду. Но основным инструментом управления пока что остается оценка превышения допустимых объемов уже совершенных выбросов и загрязнений с последующим устранением последствий и причин нарушения требований.

Потенциальные проблемы гораздо выгоднее предупреждать, чем устранять после их выявления. Это значит, что решить эту задачу следует до начала производства на этапах его подготовки. Для этого необходимо добавить в общий процесс подготовки производства соответствующие методики [2].

Для изготовления такого автокомпонента как коробка перемены передач требуется осуществить достаточно много технологических маршрутов. Каждый из них включает ряд различных операций, а значит – технологическая система будет состоять из множества рабочих мест. Соответственно, весьма значительной может оказаться и номенклатура отходов, так что – придется разрабатывать и множество технологий жизненного цикла для каждого их вида. Поэтому целесообразно каждый вид отходов приравнять по своему статусу к автокомпоненту, чтобы разрабатывать любые процессы по единому плану.

Для этого введем дополнительное понятие – попутный продукт. Это объем разового выхода отхода одного вида, имеющий отдельный жизненный цикл. Это может быть твердое тело, объем жидкости и газа, а также какой-либо вид излучений. На станочном рабочем месте в каждом операционном цикле порождаются и периодически собираются отходы исходного материала (стружка). В процессе работы оборудования порождаются и также периодически отбираются отработанные смазочные материалы, и объемы технологических жидкостей (маслянных и эмульсионных). В процессах технологического обслуживания оборудования приходится собирать объем отработанной моющей жидкости. Каждый из этих продуктов вначале должен быть собран со всех рабочих мест, а далее технологии их жизненного цикла могут различаться.

Межфункциональной команде специалистов на каждом этапе APQP проекта придется поручить дополнительные функции. Они систематизируются следующим образом.

На I этапе должны быть определены законодательные требования к каждому виду из планируемой номенклатуры попутных продуктов, проведен анализ возможностей предприятия выполнить эти требования и определена предварительная потребность в ресурсах (составлен предварительный план-график работ).

На II этапе целесообразно заранее уточнить номенклатуру попутных продуктов по жизненному циклу автокомпонента.

На III этапе проекта в ходе маршрутного проектирования необходимо определить перечень порождаемых попутных продуктов, периодичность и объемы их выхода на каждом рабочем месте.

Стандартизованный комплект технической документации целесообразно дополнить приложениями, в которых отразить расчетные объемы порождения отходов сырья и материалов, а в некоторых случаях (например, при шлифовании) – продуктов износа инструментов. Для наиболее значимых продуктов полезно сразу же запланировать объемы их порождения в цикле сменно-суточного задания.

На основе этой информации соответствующие специалисты разрабатывают технологии жизненного цикла каждого вида отходов (сбора, хранения, подготовки к реализации/утилизации, сдачи). Таким образом, структура технологической подготовки производства не изменяется. По мере разработки производственных операций она дополняется необходимыми группами работ.

Чтобы увязать технологии жизненного цикла отходов с процессом производства, придется дополнительно разработать промежуточный документ – карту выполнения заданий на выпуск продукции по рабочим местам. В этих картах удобно представить, полный комплекс работ по обслуживанию оборудования, наладочные операции и процессы уборки. Планы-графики этих работ могут быть разработаны на календарный год.

В серийном производстве (V этап проекта) исходя из регламента технического обслуживания оборудования должны формироваться календарные графики и схемы сбора этих видов отходов каждого вида.

Сформирована структура необходимых баз данных для расчета и нормирования работ, а также подготовлен комплект документированных процедур для разных групп технологий. Разработанные мероприятия апробированы на ряде предприятий – поставщиков автокомпонентов на российские головные заводы в виде комплектов документации для рабочих мест формообразования деталей на металлорежущих станках и рабочих мест термообработки.

В результате применения разработанных методик появляется качественно новая стратегия управления отходами: реагирование на уже выявленные факты превышения нормативных показателей и осуществляется своевременное

планирование порождения отходов на каждом рабочем месте в конкретные моменты времени (рис.).

Ее применение существенно повышает точность оценки объемов и сроков работ, сокращает сроки планирования корректирующих действий, создает условия для минимизации расхода ресурсов. Это сулит резкое снижение рисков нарушения законодательных требований. Руководство предприятий получает эффективное средство предупреждения потерь, связанных с негативным воздействием на окружающую природную среду. Это позволяет успешно выполнить требования [4] с высокой результативностью.

### Список литературы:

1. ISO/TS 16949-09 Quality management systems – Particular requirements for the application of 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations (IDT).
2. ГОСТ Р 51814.6-2005 Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов / Москва. ИПК Издательство стандартов 64 с.
3. ISO 14000 -2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use
4. ГОСТ Р 5604-2015 Бережливое производство. Требования к системам менеджмента. / Москва, Издательство стандартов 28 с.

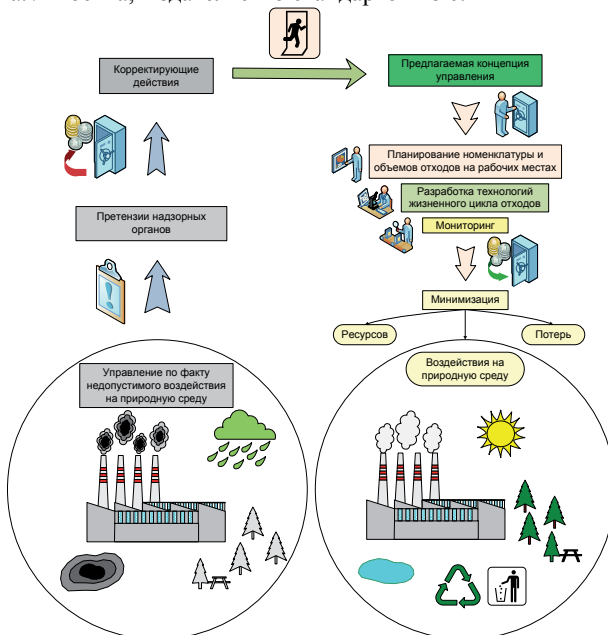


Рис. Концепция предупредительного проектирования технологий жизненного цикла попутных продуктов.

## ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ИЗ САХАРНОГО СОРГО В УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р.  
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет  
Нигматзянов А.Р.  
Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса

**Аннотация.** В статье авторы затрагивают злободневную проблему получения возобновляемого (альтернативного) топлива из сахарного сорго в стеблях которого содержится от 14 до 21 % сахаров. В Республике Татарстан испытаны и интродуцированы сорта сахарного сорго. На основе литературных данных и проведенных собственных исследований приведен набор оборудования и представлена безотходная технологическая цепочка получения биотоплива, а также топливных пеллетиз стеблей сахарного сорго.

**Abstract.** In the article, the authors address a topical issue of renewable (alternative) fuels from sweet sorghum in the stems of which contains from 14 to 21 % sugar. In the Republic of Tatarstan tested and introduced varieties of sweet sorghum. On the basis of literary data and carried out their own research given a set of equipment and presents non-waste production chain of biodiesel and fuel pellets from stems of sweet sorghum.

**Ключевые слова.** Сахарное сорго, жидкое биотопливо, технология, топливные пеллеты, альтернативное.

Вопрос производства биотоплива из сельскохозяйственного сырья вызывает горячие споры аграрных экспертов.

Жидким биотопливом считается моторное топливо из возобновляемого сырья, получаемое из семян рапса, кукурузы, сахарного сорго, сои, пшеницы и отходов их переработки. Мировое использование биомассы в течение года эквивалентно потреблению 1 млрд т нефти и сравнимо с уровнем потребления природного газа и угля. Уже с 2003 г. наблюдается устойчивая тенденция к росту производства и потребления биотоплива, обусловленная увеличением в мире цен на нефть, а также идеями повышения энергетической безопасности и стремлением к сокращению выбросу парниковых газов в атмосферу. Щедрая государственная поддержка альтернативной энергетики в США и странах Западной Европы привела к интенсивному росту мощностей по выпуску биоэтанола и биодизеля из пищевого и растительного сырья[1,2,3].

Для быстро развивающихся биоэнергетический сектор экономики стран, важна не только экологическая составляющая, но и энергетическая безопасность (независимость). Биоэнергетика дает такую безопасность, поскольку биотопливо производится внутри страны, к тому же является возобновляемым источником которая всегда доступна. В то же время ряд стран ЕС пришли к выводу, что необходимо переходить на жидкое биотопливо второго поколения, получаемое, например, из соломы или отходов переработки древесины [1,4,5].

Наиболее экономичными для производства биоэтанола являются сахарный тростник, кукуруза и сахарное сорго. С большим отрывом далее идут зерновые, производимые в различных регионах мира. Перспективным источником сырья для производства биоэтанола, по-видимому, будет целлюлоза, из которой можно получить жидкое био топливо второго поколения.

В странах СНГ пионером развития производства биоэтанола стала Республика Казахстан. Там в 2008 г. там сдали в эксплуатацию завод по производству биоэтанола мощностью 57 тыс. т в год. Также предусмотрены глубокая переработка пшеницы в муку и био топливо с промежуточной стадией извлечения сухой клейковины, а также производство кормовых дрожжей и диоксида углерода.

Для производства этанола в США использовали в 2008г. около 30% урожая сорго, а в 2015 г. на этанол перерабатывали уже половину выращенного сорго.

Несмотря на финансовый кризис, президент Барак Обама в числе первых программных заявлений огласил свою приверженность планам снижения потребления нефти за счет увеличения потребления биоэтанола.

По « Плану Обамы» предусматриваются инвестиции в размере 150 млрд долл. в предприятия, производящие жидкое экологическое моторное топливо. При этом все больший приоритет отдается топливу из непищевого сырья до 135 млн т в год, в то время как производство зернового этанола составит не более 36 млн т в год.

Согласно оптимистическому прогнозу, ожидаемый объем потребления биоэтанола в ЕС в 2020 г. может составлять 10 млрд л, а совокупный среднегодовой темп роста рынка биоэтанола в ЕС в 2008 г. по 2020г. достигнет 8,7%. По пессимистическому прогнозу, ожидаемый объем потребления биоэтанола в ЕС в 2020 г. составит 7 млрд л, а совокупный среднегодовой темп роста объема рынка биоэтанола в ЕС с 2007 по 2017 г. – 5,6%. В обоих сценариях потребность ЕС в биоэтаноле частично будет компенсироваться импортными поставками от 10 до 25% емкости рынка. Китай всего за три года сумел войти в четверку крупнейших производителей топливного этанола в мире. К 2016 году прогнозируется увеличение производства этанола в Китае, в основном из кукурузы, до 3,5 млрд л. Согласно разным источникам, в России существует около 10 проектов строительства заводов по производству биоэтанола, но только один проект (ГК «Титан», Омская область) реализуется.

В Республике Татарстан начиная 90-х годов прошлого столетия инициативные группы занимались творческим поиском получения альтернативных источников топлива (биоэтанола) из различного растительного сырья. Остановились на сахарном сорго, различные сорта и гибриды которого содержат в стеблях от 14 до 21 % сахаров. В условиях Республики Татарстан можно получить от 270 до 600 ц /га. зелёной массы с выходом сахара с содержанием в соке стеблей до 21 %[6,7,8,9].



Рисунок 1. Проект производства биотоплива из сахарного сорго

Нами на рисунке 1 представлена схема производства альтернативного источника топлива.

Сравнительно высокая стоимость производства и возрастающая рыночная стоимость зерна также ограничивают распространение биоэтанола в России. Если рыночная цена на зерно будет продолжать увеличиваться, то его использование в качестве сырья для производства биоэтанола будет экономически невыгодным. С другой стороны, реальной альтернативой могут стать такие сырьевые источники, как, например, свекловичная меласса – патока и т. д.

В краткосрочной перспективе в России ожидаются изменения законодательства в отношении биотоплива. Начинает изменяться законодательная база: принимается полный перечень законодательных актов для того, чтобы этанол стал отдельным продуктом именно как топливная составляющая. При этом возникло намерение использовать биотопливо на внутреннем рынке: сейчас в России на государственном уровне разрабатываются стандарты бензинов с добавлением биоэтанола.

Эксперты полагают, что биоэтанол, произведенный в Российской Федерации, имеет хорошие перспективы продвижения на рынках Европейского сообщества, Японии и ряде других государств мира.



## Литература

1. Пашенко А.И. Экономическая оценка перспективы получения биобутанола из не зернового сырья / Сб. статей II Междунар. научно-практ. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010.
2. Пашенко А.И. Экономическое и внеэкономическое регулирование производства биотоплива второго поколения /Матер. междунар. научно-методич.конф. «Химия и экология. Развитие науки и образования». – М.:МГОУ, 2010.
3. Тарасов В.И. Технологические и экономические перспективы и нормативно-правовое обеспечение производства и реализации российского биотоплива // Промышленник России. – 2008. - №9.
4. Тарасов В.И. Перспективы производства биотоплива из генно-модифицированного сырья / Матер. междунар. научно- методич. конф. «Химия и экология. Развитие науки и образования». – М.: МГОУ, 2010.
5. РосБизнесКонсалтинг. Департамент Консалтинга. Рынок биотоплива: биотопливо, биодизель, биогаз, пеллеты // Аналитический обзор. - Москва, 2010.
6. Нафиков М. М., Фомин Д. В., Нигматзянов А. Р. Сорты и технологические приёмы возделывания сахарного сорго (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Кормопроизводство №7 2016 г. С.29-33
7. Д.В. Фомин, А.Р. Нигматзянов, П.А. Чекмарев, М.М. Нафиков. Влияние предшественников и уровня питания на засоренность, агрофизические свойства почвы и продуктивность сахарного сорго Земледелие №5, 2016 С.26-28
8. Нафиков М.М., Якушкин Н.М., Фомин В.Н., Кашапов Н.Ф., Фомин Д.В., Нигматзянов А.Р. Сахарное сорго: технологические и экономические аспекты возделывания в Республике Татарстан. Учебное пособие Казань: Издательство «ЗнакС» ИП Сизиков - 2016. - 40с.
9. N.F. Kashapov, M.M. Nafikov, M.X. Gazetdinov, M.M. Nafikova, A.R. Nigmatzyanov Innovative production technology ethanol from sweet sorghum IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 134. – 012012.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОГО СОРГО

Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р.  
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет  
Газетдинов М.Х., Нафикова М.М.  
Казанский государственный аграрный университет  
Нигматзянов А.Р.

Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, г.Казань

**Аннотация.** В сельском хозяйстве в последние годы технологии возделывания сельскохозяйственных культур направлены на снижении энергозатрат. Для этого активно внедряется комбинированные агрегаты.

Данные сельскохозяйственные машины за один проход по полю могут выполнить от 6 до 8 операций и этим самым существенно сокращают энергетические затраты при посеве.

**Abstract.** In agriculture in recent years, technologies of cultivation of agricultural crops is aimed at reducing energy costs. This is being promoted combined units. The data of the agricultural machine in a single pass across the field can run from 6 to 8 operations and thereby significantly reduce energy costs while sowing.

Ключевые слова. Энергосбережение, сорго, технология, почва, ресурсы.

Важной особенностью функционирования сельскохозяйственной отрасли является то, что они связаны с тем, что в качестве объекта воздействия машин чаще всего выступают биологические объекты: почва, растения и животные. В свою очередь это накладывает отпечатки на особенности потребления и распределения энергии, а также возможные энергетические источники. В структуре энергетических ресурсов для сельского хозяйства помимо традиционных источников энергии - нефти, газа, электроэнергии; включается также солнечная энергия, энергия биологической массы и вторичные энергоресурсы. Условия функционирования российского сельского хозяйства происходит в более неблагоприятных климатических условиях, чем в развитых странах ЕС. Совокупные энергетические затраты на производство 1 т условной зерновой единицы в России в сравнении с США выше более, чем в 5 раз. В настоящее время энергоёмкость производимой продукции выступает как фактор конкурентоспособности произведенной продукции.

В СССР при плановой модели хозяйствования отмечалась устойчивая тенденция к повышению энергоёмкости сельскохозяйственного производства. Увеличение прироста валовой продукции сельского хозяйства на 1% достигалось повышением на 1,8-2,7% используемых энергетических мощностей. Анализ показывает, что за последние три пятилетки повышалась энергоёмкость средств производства. Потребление овеществленной энергии возросло на 350%. За указанный период прирост растениеводческой продукции составил 25% [1,2,3,4].

Проблема энергосбережения в сельском хозяйстве включает последовательное решение трех задач: принятие и постепенная реализация организационно-экономических и нормативно-правовых мероприятий; внедрение энергосберегающих технологий и широким использованием вторичных энергоресурсов; изменение машинных технологий с кардинальным снижением энергетических затрат.

В растениеводстве происходит коренная переоценка применяемых технологий возделывания культур с целью существенного сокращения энергетических затрат. Для того чтобы снизить энергетические затраты, при основной обработке почвы применяются ресурсосберегающие приемы обработки почвы. В качестве последних выступают плоскорезная обработка почвы, мелкое лемешное лущение, дискование. Исследования показывают, что на оструктуренных плодородных почвах ресурсосберегающие обработки в

сравнении со вспашкой не снижают урожайность зерновых культур. При этом расход горючего при основной обработке почвы снижается на 1 л при уменьшении глубины обработки на 1 см. В сельском хозяйстве Татарстана активно внедряются посевные комбинированные агрегаты. Данные сельскохозяйственные машины за один проход по полю осуществляют до восьми операций: боронование, внесение удобрений, культивация, выравнивание почвы, посев, прикатывание посевов. Комбинированные посевные агрегаты в сравнении с раздельным применением приемов предпосевной обработки почвы обеспечивают сокращение энергетических затрат при посеве. Так, расход топлива в среднем при посеве комбинированным посевным агрегатом «Виктория» на стерневом фоне в СПК «Алга» Алексеевского муниципального района сократился на 8.1 кг/га. [5,6].

Основными видами энергоресурсов, которые потребляет сельское хозяйство, являются ТСМ (топливо-смазочные материалы), тепловая энергия, электроэнергия, газ. В зависимости от сельскохозяйственного направления приоритет отдается разным его видам, если для животноводства это ТСМ и электроэнергия, то для растениеводства это ТСМ, а для закрытого грунта тепловая энергия и электроэнергия.

Одним из ключевых факторов стоимости получаемого сельскохозяйственного продукта, является его энергоёмкость. А именно, количество энергии, затрачиваемое на производство единицы продукции. По этому показателю наши производители имеют существенное отставание от своих западных коллег. Несомненно, существенное влияние оказывает географическое положение и климатические условия, но отрицать недостатки в используемых технологиях, технических устройствах и системе управления, тоже не стоит.

Поэтому сельское хозяйство, для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, неизбежно сталкивается с необходимостью модернизации. Ключевой целью, которой, является повышение производительности и снижение энергоёмкости.

Наиболее перспективными, в плане модернизации, являются следующие направления: техническое оснащение; технологии; система управления.

Повышение энергоэффективности и грамотная организация энергосбережения, позволяя существенно сократить энергозатраты на единицу получаемой сельхозпродукции. К тому же потенциал энергосбережения в сельском хозяйстве огромен.

Нераскрытый потенциал энергосбережения для сельского хозяйства:

1. Применение низкоэнергозатратных технологий обработки почвы.
2. Использование энергоэффективного машинотракторного парка, проведение своевременного технического обслуживания, выполнение своевременной регулировки с целью повышения производительности.

Таблица 1. Анализ затрат на проведение различных вариантов возделывания сахарного сорго.

	Технологические операции	Применяемая техника	Кол-во, шт	Стоимость, руб.	Персонал	Статьи затрат			Итого	Структура затрат, %	
						Заработная плата	ГСМ, руб	Затраты на сервис и ТО			
Классическая технология	Дискование	Трактор К-744 Дискатор «Дискомастер 9*4»	1 1	5 500000 1 160000	1	1500	10800	9720	22020	6,9	
	Отвальная вспашка	Трактор К-744 Плуг отвалный ПРУН-8-45	3 4	16 500 000 2000 000	3	7000	57600	51840	116440	36,4	
	Боронование	Трактор МТ31221 Борона тяжелая	1 1	1400 000 1000000	1	800	6300	452	7552	2,4	
	Комбинированный посев	Трактор К-744 Посевной комплекс «Агратор 12200»	- 1	2920000	1	4000	11700	10530	26230	8	
	Итого:			13	30 480 000	6	33250	86420	77760	320000	100
	Технология прямого посева	Дискование	Трактор К-744 Дискатор «Дискомастер 9*4»	1 1	5500 000 1 160000	1	1500	6300	5670	13470	6,9
Безотвальная чизельная вспашка		Трактор К-744 Чизельный плуг «Чизельмастер 6000»	1 2	5500 000 1 100000	1	800	18000	16200	35000	18,0	
Боронование		Трактор МТ31221 Борона	1 1	1400 000 1000000	3	3920	11700	10530	26150	13,5	

	тяжелая								
Комбинированный посев	Трактор К-744 Посевной комплекс «Агратор 12200»	- 1	2920000		4000	11700	10530	26230	13,5
	Итого:		18580000	5	1550	56800	51120	194000	100

3. Исключение нерациональных затрат.

4. Использование органических отходов для производства газа посредством биогазовых установок.

5. Использование альтернативных источников энергии.

Это только малая часть возможных мероприятий по энергосбережению в сельском хозяйстве.

И если мотивов для энергосбережения предостаточно, то инвестиций для его осуществления крайне мало. Объясняется это высокими рисками и большими сроками окупаемости.

Энергосбережение с каждым годом становится все более актуальной проблемой. Ограниченность энергетических ресурсов, высокая стоимость энергии, негативное влияние на окружающую среду, связанные с её производством, - все эти факторы невольно наводят на мысль, что разумней снижать потребление энергии, нежели постоянно увеличивать её производство, а значит, и количество проблем. Упор необходимо сделать на использование первичных возобновляемых источников энергии (использование энергии Солнца, ветра, приливов-отливов, геотермальной энергии и т.д.) или иначе альтернативных источников энергии. В данном случае предполагается альтернатива использованию первичных невозобновляемых источников энергии (уголь, нефть, газ, слюда, сланцы и т.д.).

Использование вторичных источников энергии - является главным резервом сохранения энергии и главным образом это - применение энергосберегающих технологий, основными из которых являются:

- использование отходов (солома, стебли, опилки, ветки деревьев и т. д.) для целей отопления;

- использование вторичных энергоресурсов промышленных предприятий;

Таким образом, применение энергосбережения в сельском хозяйстве должно решить вопросы не только снижения прямых и совокупных затрат энергии, причем средства сэкономленные благодаря рациональному использованию энергии необходимо направлять на дальнейшее энергосберегающие меры (т.е. работать по принципу реинвестиций), но и увеличения производства продукции.

### Литература

1. М.М.Нафиков, Н.М. Якушкин, В.Н.Фомин, И.П. Таланов / Возделывание одновидовых и смешанных посевов сорговых культур и их

эффективность Москва. – 2015. – 248с.: Издательство «ЗнакС», 2015. [Учебное пособие]

2. Кашапов Н.Ф., М.М.Нафиков, Газетдинов М.Х., Нафикова М.М., Нигматзянов А.Р. Экономическое обоснование выбора машин и орудий для основной обработки почвы под сахарное сорго (научная статья) Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2015» (МНТК «ИМТОМ–2015»). Ч. 1. – Казань, 2015. – С. 285-288.

3. М.М.Нафиков Пазников В.В. Прогнозирование и программирование урожая сорго в лесостепи Поволжья Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1 URL: [www.science-education.ru/107-8378](http://www.science-education.ru/107-8378) .

4. М.М.Нафиков Валиев И.З., Фомин В.Н. Оценка некоторых элементов агротехники сорго в условиях Закамья Татарстана Кормопроизводство. - № 2. – 2013

5. М.М.Нафиков, Фомин В.Н., Валиев И.З. Урожайность сорго в зависимости от способов основной обработки почвы и удобрений в условиях лесостепи Поволжья «Достижения науки и техники АПК» № 2, 2012. С.25-27

6. N.F. Kashapov, M.M. Nafikov, M.X. Gazetdinov, M.M. Nafikova, A.R. Nigmatzyanov Justification of the choice of units for mains-noah soil cultivation of sweet sorghum and their effectiveness IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 134. – 012013.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МАШИН ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД СОРГО**

Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р.  
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет  
Нигматзянов А.Р.

Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса

Аннотация. Цель исследования - подбор оптимального состава сельскохозяйственной техники для предпосевной обработки почвы под сахарное сорго. Выявлена и раскрыта сущностная характеристика технологий. Так, инновации применительно к АПК - это новые технологии, новая техника, новые сорта растений, новые удобрения и средства защиты растений. Особое место занимают технико-технологические и производственные инновации. Для оптимизации общих затрат при возделывании сорго рекомендуется пересмотреть состав посевных комплексов. Плюсом является и сокращение сроков проведения посевных работ, а также сокращение трудоемкости выполнения.

Abstract. The purpose of the study - selection of the optimal composition of agricultural machinery for seedbed preparation for sugar sorghum. Identified and disclosed essential characteristics of the technologies. Thus, innovation in relation to АПК is new technology, new technology, new plant varieties, new fertilizers and

means of plant protection. A special place is occupied by technological and manufacturing innovation. To optimize the total cost in the cultivation of sorghum is recommended to reconsider the composition of seeders. The advantage is the reduction of terms of sowing and shortening of the complexity of the implementation.

Ключевые слова: энерго- и ресурсосберегающие технологии, импортозамещение, оптимальный состав.

Внедрение и использование сельскохозяйственных машин для внедрения инновационных технологий в растениеводстве (энерго- и ресурсосберегающих), особенно при санкциях на отдельные виды продовольствия, будет основным направлением увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции.

Используемая сельскохозяйственная техника - это в первую очередь весь шлейф машин для обработки почвы и посева.

Для производства сельскохозяйственной продукции в растениеводстве могут использоваться как классические технологии, так и технологии с минимальной или нулевой обработкой почвы. Для решения вопросов по импортозамещению (а это 17,5 трлн руб. [2]) необходимо внедрить энергосберегающие технологии.

Применение этих технологий позволяет достичь: уменьшение количества проходов агрегатов по полю в результате применения комбинированных и широкозахватных машин, что уменьшает уплотнение почвы; сокращение затрат труда через сокращение объема технологических операций или выполнение нескольких операций за один проход; сократить машинно-тракторный парк и количество механизаторов, а также обслуживающего персонала; сократить затраты на ТСМ и сроки проведения полевых работ.

Комбинированные машины появились на рубеже 1970-80-х гг. К 1990 г. комбинированные машины для обработки почвы и посева стали стремительно набирать популярность. Пионером в этом направлении была компания JohnDeere. Первые машины, совмещающие в себе функции обработки почвы и посева, появились в 1980-х гг. Они состояли из двух или более орудий. В 1993 г. другой производитель KvernelandGroup (Норвегия) предложил комбинированные агрегаты, представляющие собой активную борону в комбинации с зерновой сеялкой, это была одна целая машина. В Республике Татарстана блочно-модульные машины начали производить с 90-х годов прошлого столетия.[1]

Более совершенные комбинированные машины в современном понимании начали производить с 2005-2007 гг. На рынке почвообрабатывающей и посевной техники стали появляться комбинированные агрегаты, обеспечивающие посев культурных растений при минимальной и нулевой обработке почвы.[3,4,5]

Под сахарное сорго, сравнительно новую культуру для земледельцев Республики Татарстан пока не испытывались и не рекомендовались ресурсосберегающие приёмы предпосевной обработки почвы. Поэтому исходя из вышеизложенного нами в 2013 году нами были заложены и проведены

полевые опыты и лабораторные исследования с набором почвообрабатывающих машин. Результаты опытов приводятся далее.

Максимальная (44,1 т/га) урожайность сорго в среднем за три года получена при проведении предпосевной обработки почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5 (табл. 1).

Прибавка к контролю составила 11,3 т/га. Низкая (28,2 т/га) урожайность сорго получена при предпосевной обработке почвы агрегатом ВНИИСС-Р.

Таблица 1 – Урожайность сорго в зависимости от предпосевной обработки почвы, т/га

Агрегат	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Средняя за 2013-2015 гг.	Прибавка, т/га ±
КПС-4	33,6	30,3	34,4	32,8	–
КБМ-10,5	44,7	42,1	45,4	44,1	11,3
ВНИИСС-Р	30,1	26,6	28,1	28,2	4,5
КПГ-4	33,4	31,8	32,6	32,6	-0,2

Использование культиватора КПС-4 для обработки почвы позволило собрать 32,8 т зеленой массы с 1 га. Самая высокая (45,4 т/га) урожайность сорго получена в 2015 году при проведении предпосевной обработки почвы агрегатом КБМ-10,5, самая низкая – в 2014 г. Изучаемые приемы предпосевной обработки почвы оказали влияние и на питательную ценность зеленой массы сорго (табл. 2).

Таблица 2 – Сборы кормовых единиц, протеина и обеспеченность кормовой единицы протеином сорго (2013-2015 гг.)

Вариант	Сборы кормовых единиц, кг/га				Сбор протеина, кг/га	Обеспеченность 1 к. ед. протеином, г
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	средние за 3 года		
1	2	3	4	5	6	7
КПС-4	6552	5947	6708	6402	486	76
КБМ-10,5	8717	8210	8853	8593	670	78
ВНИИССР	5870	5187	5480	5512	408	74
КПГ-4	6513	6201	6357	6357	477	75

НСР<sub>05</sub> 1,24 1,22 1,89

Наибольший (8593 кг/га) сбор кормовых единиц с одного гектара получен при обработке почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5. Несколько уступали этому варианту обработка почвы культиваторами КПС-4 и КПГ-4, где собрано с одного гектара соответственно 6402 и 6357 кг кормовых единиц. Самый низкий (5512 кг/га) сбор кормовых единиц получен при обработке почвы бороной ВНИИСС-Р.



Между урожайностью, сбором кормовых единиц и протеина выявлена прямая корреляционная связь. Множественный коэффициент корреляции составил 1,0,  $F_{\text{факт}} > F_{0,5}$ , а уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 8,942 + 0,004 \cdot X_1 + 0,016 \cdot X_2 - 0,119 \cdot X_3 \pm 0$$

где:  $y$  – урожайность, т/га;

$X_1$  – сбор кормовых единиц, кг/га;

$X_2$  – сбор протеина кг/га,;

$X_3$  – обеспеченность кормовой единицы протеином, г.

Данные по экономической эффективности сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Экономическая эффективность выращивания соргона зеленую массу

Агрегат	Урожайность зеленой массы, т/га	Стоимость валовой продукции, руб.	Затраты на 1 га, руб.	Чистый доход с 1 га, руб.	Уровень рентабельности, %	Себестоимость 1 т зеленой массы, руб.
КПС-4	32,8	4002	2886	1116	38,7	88,0
КБМ-10,5	44,1	5380	3085	2295	74,4	70,0
ВНИИСС-Р	28,3	3452	2862	590	20,6	101,1
КПГ-4	32,6	3977	2884	1093	37,9	88,5

Наибольший (2295 руб./га) в опыте чистый доход и наименьшая (70 руб./т) себестоимость одной 1 т зеленой массы сахарного сорго получены при обработке почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5.

Самым низким в опыте чистый доход и самая высокая себестоимость были при проведении предпосевной обработки почвы боронами ВНИИСС-Р и составили соответственно 590 руб. и 101,1 руб./т.

Результаты энергетической оценки сведены в таблицу 4. Наибольший (7,2) в опыте коэффициент энергетической эффективности и биоэнергетический потенциал агроэкосистемы (8,1) сахарного сорго получен при обработке почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5. Самым низким (4,4) он был на варианте предпосевной обработки почвы, проведенной боронами ВНИИСС-Р. При обработке культиваторами КПС-4 и КПГ-4 он составлял 5,0.

Таблица 4 – Энергетическая эффективность предпосевной обработки почвы при возделывании сорго

Агрегат	Урожайность зеленой массы, т/га	Накоплено энергии, ГДж/га	Затрачено энергии, ГДж/га	Энергетический коэффициент эффективности	БЭП агроэкосистемы
КПС-4	32,8	151,53	30,23	5,0	1,9
КБМ-10,5	44,1	209,75	29,18	7,2	8,1
ВНИИСС-	28,3	129,82	29,43	4,4	1,3
КПГ-4	32,6	150,61	30,25	5,0	1,9

Энергия, оставшаяся в растительных остатках сахарного сорго определялась на основе уравнения линейной регрессии выведенного А.М. Лыковым:

$$Y = 0,1 \cdot X + 6,27$$

И составляла по вариантам соответственно:

$$Y = 0,1 \cdot 32800 + 6,27 = 3286,27$$

$$Y = 0,1 \cdot 45400 + 6,27 = 4546,27$$

$$Y = 0,1 \cdot 28100 + 6,27 = 2816,27$$

$$Y = 0,1 \cdot 32600 + 6,27 = 3266,27$$

Анализ полученных данных уравнения показал, что самое наибольшее (4546,27) количество энергии в растительных остатках было на варианте предпосевной обработки почвы, проведенной комбинированным агрегатом КБМ-10,5.

В результате сравнительной оценки вариантов предпосевной обработки почвы было установлено, что низкая выравненность поверхности и наибольшая глыбистость (6,0 шт./м<sup>2</sup>) была на варианте обработки почвы боронами культиваторами ВНИИСС-Р. Максимальная (44,1 т/га) урожайность сорго в среднем за три года получена при проведении предпосевной обработки почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5, прибавка к контролю составила 11,3 т/га. В среднем за три года исследований наибольший сбор к. ед. получен при проведении предпосевной обработки почвы комбинированным агрегатом КБМ-10,5. Этот вариант оказался экономически и энергетически эффективным.

### Литература

1. Зеленин А. Н., Юсупов М. Л. Автоматизация вождения сельскохозяйственных машин для обработки почвы, посева, ухода за растениями и уборки. Екатеринбург : УрГАУ, 2014. 152 с.
2. Личман Г. И., Беленков А. И. Точное земледелие (precision agriculture): в вопросах и ответах // Нивы Зауралья. 2015. № 5. С. 56-58.
3. Нафиков М.М., Каримов Х.З. Влияние способов посева и норм высева на урожайность сахарного сорго. Международные научные обмены как средство интеграции Российского образования в мировое культурное пространство. – Казань. – 2008. - с.56-57.
4. Нафиков, М. М. Формирование высокопродуктивных ценозов кормовых культур в условиях лесостепи Поволжья : автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.01.01/Нафиков Макарим Махасимович. – Йошкар – Ола, 2011. – 35 с.
5. Нафиков М. М., Фомин В.Н., Корольков В.А. Влияние сроков и норм посева на урожайность и качество сахарного сорго в условиях Лесостепи Поволжья. Ученые записки Казанской Государственной академии ветеринарной медицины им.Н.Э.Баумана. – Казань. – 2009. –Т.197. – с.292-298.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ В УЗЛЫ ПОДОГРЕВА ВЫСОКОПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ

Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р., Хуснутдинова Э.М.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация.** Рассматривается алгоритм технико-экономической оптимизации решений по выбору предпочтительных решений по модернизации теплообменного оборудования. Алгоритм обсуждается на примере подогревателей высокопарафинистых нефтей с альтернативными вариантами конструкций теплопередающих поверхностей.

**Abstract.** This paper covers an algorithm of how to optimize the selection of preferred solutions to upgrade heat-exchange equipment. The algorithm is discussed in terms of high-paraffin oil heaters as compared with other heat-exchange surface features.

**Ключевые слова:** технико-экономический анализ, модернизация, интенсификация, теплообменник-подогреватель, высокопарафинистая нефть

В практике выбора оптимального решения по модернизации теплообменного оборудования из нескольких альтернативных вариантов обычно проводится технико-экономический анализ. В его основу заложен расчет одного или нескольких показателей эффективности (срок окупаемости, приведенные затраты, рентабельность и пр.), которые отражают степень предпочтительности того или иного решения [1].

В частности, с учетом налога на прибыль  $N_{пр}$  чистый годовой доход предприятия от модернизации оборудования определяется по формуле, тыс. руб./год:

$$\sum \mathcal{E}'_{рез} = \sum \mathcal{E}_{рез} \cdot (1 - N_{пр}), \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{рез}$  - результирующий экономический эффект от реализации технических решений, определяемый по формуле:

$$\sum \mathcal{E}_{рез} = \mathcal{E} - S, \quad (2)$$

$\mathcal{E}$  – эффективная (доходная) часть технического решения, тыс. руб./год;  
 $S$  – дополнительные эксплуатационные затраты технического решения, тыс. руб./год.

При этом основные методические трудности представляет корректное определение положительных и отрицательных эффектов, связанных с

изменением эксплуатационных затрат на обеспечение работоспособности оборудования в течение года (или межремонтного периода эксплуатации).

В [2, 3] показано, что сравнение эффективности теплообменников с чистыми поверхностями оказывается не вполне корректно для случаев, когда при эксплуатации оборудования имеет место интенсивное загрязнение поверхностей. А также существенное значение имеет сезонность, климатические условия или вызванное иными факторами изменение начальных условий нагрева или охлаждения высоковязких сред при зависимости их эффективной вязкости от температуры.

Все эти аспекты в полной мере могут быть отнесены и к подогревателям парафинистых нефтей, где и загрязнение поверхностей, и колебания начальной температуры рабочей среды игнорировать нельзя.

При внедрении инновационных решений помимо эксплуатационных затрат требуются значительные капитальные затраты на сам теплообменник, на фундамент для его установки, на помещение для его размещения, если таковое понадобится, и т.д. Все эти факторы во многом зависят от конкретных условий эксплуатации на конкретном предприятии. Но, тем не менее, есть общий показатель, который характеризует материалоемкость вновь создаваемого (или модернизируемого) оборудования. Для теплообменников таким показателем является металлоемкость [4]. Поэтому в положительные или отрицательные эффекты в рассматриваемых задачах следует относить увеличение или уменьшение отчислений на амортизацию оборудования.

Учитывая вышеперечисленные обстоятельства, алгоритм проведения технико-экономического анализа решений по внедрению интенсификаторов в узлы подогрева высокопарафинистых нефтей выглядит следующим образом.

**Этап 1.** Проведение анализа теплогидравлической эффективности теплообменников – подогревателей нефти с чистыми поверхностями.

Для теплообменников, работающих в номинальном режиме, характерно постоянство тепловой мощности. Исходя из метода сравнительного анализа М.В.Кирпичева, это означает, что коэффициент тепловой эффективности есть величина постоянная, кВт/(м<sup>2</sup>·К) [2]:

$$K_Q = \frac{Q}{F} = K \cdot \Delta t = const. \quad (3)$$

Коэффициент мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей, рассчитывается по формуле, кВт/м<sup>2</sup>

$$K_N = \frac{\sum N}{F}. \quad (4)$$

Коэффициент энергетической эффективности теплообменника рассчитывается как соотношение:

$$\bar{E}_0 = \frac{K_Q}{K_N}. \quad (5)$$

Учитывая соотношение (3), из уравнения (5) следует, что сравнительный анализ теплогидравлической эффективности интенсифицированных подогревателей по отношению к базовой модели сводится к сравнению соотношения потерь давления (требуемой мощности на транспортировку теплоносителей) в данных аппаратах, т.е.

$$\frac{\bar{E}_0}{\bar{E}_{0i}} = \frac{K_{N_i}}{K_N}. \quad (6)$$

Здесь индекс  $i$  указывает на тип интенсифицированного теплообменника.

Если работа теплообменника происходит (или планируется) в условиях переменной нагрузки, то параметры, приведенные в ф-лах (3)-(6) необходимо усреднять с учетом характерных режимов работы оборудования и их продолжительности.

**Этап 2.** Проводится анализ теплогидравлических режимов в зависимости от начальной температуры нефти (нефтепродуктов).

**Этап 3.** Производится расчёт расхода греющего теплоносителя в зависимости от начальной температуры рабочей среды.

**Этап 4.** Определяется зависимость коэффициента теплопередачи в подогревателе от расхода рабочей среды и греющего теплоносителя  $K_{Т.А.} = f(\text{Re}_н, \text{Re}_{т.н.})$ .

**Этап 5.** Рассчитывается требуемая площадь теплообмена и осуществляется проверка ее соответствия действительной площади теплообменника.

**Этап 6.** Определяются зависимости коэффициентов теплопередачи в подогревателе нефти от наличия загрязнений на поверхностях теплообмена. Эти зависимости также являются приведенными, так как из-за изменения конфигурации поверхности трубного пучка проходное сечение для прохода рабочих сред меняется. Изменение конфигурации поверхности по стороне греющего теплоносителя влияет на скорость отложений на внешней поверхности труб. Изменение конфигурации поверхности по стороне нефти (нефтепродуктов) влияет на скорость отложений на внутренней поверхности труб. В частности, в [2] отмечалось, что в случае винтовой или кольцевой накатки наблюдается подавление скорости отложений до 3-х крат в номинальном режиме работы. Здесь же определяется коэффициент изменения температурного напора в аппарате с учетом наличия загрязнений и коэффициента изменения расхода греющего теплоносителя для нейтрализации этого негативного явления. Для проверки выполнения условия подогрева рабочей среды до требуемой температуры, осуществляется перерасчет показателей с п.4.

**Этап 7.** Проводится расчет интегральных технико-экономических параметров по ф-лам (1)-(2) и формулируются выводы.

Оценочные расчеты, проведенные для двух типов поверхностей – гладкотрубной и интенсифицированной с нанесенной винтовой накаткой, показали, что переход к интенсифицированному виду поверхностей окупается менее чем за 1,5 года.

### Литература

1. Назмеев Ю.Г., Конахина И.А. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. - М: Издательство МЭИ, 2002.
2. Конахина И.А., Воропаев А.Н. К вопросу выбора эффективных конструкций теплообменников-маслоохладителей с учетом реальных условий их эксплуатации / Теплофизика и теплоэнергетика: Сб. науч. ст. – Магнитогорск: МаГУ, 2010. С. 141-146.
3. Воропаев А.Н., Уханов К.В. К оценке влияния сезонных колебаний температуры охлаждающей воды на эффективность работы теплообменников-охладителей вязких сред. / Известия вузов. Проблемы энергетики. № 5-6, 2009. С. 132-137.
4. Симонов В.Ф. Повышение эффективности энергоиспользования в нефтехимических производствах. М.: Химия, 1985. - 238 с.

## РЕИНЖИНИРИНГ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ – КЛЮЧЕВАЯ ЗАДАЧА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ<sup>1</sup>

Кузнецов Борис Леонидович  
Кузнецова Светлана Борисовна  
Галиуллина Гыльфия Фагимовна

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)  
федерального университета, 423812, Республика Татарстан, г.Набережные  
Челны, д. 68/19

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы стратегии вывода машиностроения России из кризиса. Отмечаются синергетические факторы, влияющие на развитие машиностроения. Также отмечаются новые инструменты развития: ИнноКам, ТОСЭР, программно-целевое проектирование, синергетический реинжиниринг.

---

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ. Проект «Стратегия формирования и функционирования территорий опережающего развития на основе реализации территориальной промышленной политики» № 16-02-00073.

**Abstract.** This article discusses the strategy of withdrawal of Russian machine-building crisis. There have synergistic factors affecting the development of mechanical engineering. Also marked the development of new tools: InnoKam, Area of Socio-Economic Development, program-targeted planning, synergistic reengineering.

**Ключевые слова.** Реинжиниринг, машиностроение, синергетические эффекты, ТОСЭР, ИнноКам.

Любые изменения в производительных системах (реконструкция, модернизация, реновация и т.д.) определяются потенциалом машиностроения. Доля машиностроения в промышленном производстве за последние 25 лет сократилась в России с 30 до 15-17%. Особо тяжелый урон понесли станкостроение, системоформирующая подотрасль машиностроения, автомобилестроение, тракторостроение, гражданское судостроение, авиастроение, машиностроение для легкой и пищевой промышленности, приборостроение и т.д.

Поставленные задачи по импортозамещению «торпедируются» невозможностью реализовать данные задачи без коренной реконструкции машиностроения. В качестве первоочередных задач является реинжиниринг заготовительного передела машиностроительных заводов. Фундаментом машиностроительных технологий являются литые, кованные и штампованные заготовки. Мотор любой конструкции на 90-95% состоит из отливок, сложнейших по качеству материала, технологии получения и формобразования. До 80% массы станков, тракторов, 60% тяжелого транспортного оборудования – отливки. Новых литейных цехов в стране практически нет. Литейному производству АвтоВАЗа 50 лет, КАМАЗа – 40 лет. А ведь это более 30% массы автомобилей.

Не менее сложное положение в кузнечном и пресловом производстве, на долю которых приходится до 50% массы автотехники, значительная часть массы трактора, самолета или морского судна.

Устаревшее оборудование заготовительных производств не дает возможность обеспечивать должную конкурентоспособность, надежность, эффективность исходной базы российского машиностроения.

Осуществленный в 2000-ые годы переход на аутсорсинг («промборку», «отверточную сборку»), оставил около 90% добавленной стоимости при производстве сложных изделий (автомобиль – это 4,5 тысяч наименований узлов, агрегатов, деталей) заграничным производителям. Структура добавленной стоимости, например, при производстве грузового автомобиля, складывается из следующих основных элементов: заготовительное производство (отливки, поковки, штамповки, термообработка, термогальваника) – 40%; механообработка деталей агрегатов (двигателя, коробка передач, деталей ходовой части, крепеж) – 40%; сборка, испытания – 15; инфраструктура – 5%.

Региональная экономика заинтересована в получении максимума добавленной стоимости (реально получить при полном технологическом цикле,

т.е. наличии заготовительного, агрегатного, механосборочного производств и развитой инфраструктуры). Если учесть, что при промсборке при переходе на зарубежные технологические платформы разрушаются научные школы, сокращается потребность в инженерно-технических кадрах, снижается содержание труда, то ущерб от аутсорсинга будет проявляться дополнительными потерями. Интеллектуальный уровень работающих с ростом аутсорсинга понижается.

Следование чужим технологическим платформам лишает производство лидерства, инициативы и обрекает на догоняющие стратегии развития. В отдельных подотраслях это категорически недопустимо.

Стандарты ВТО и сертификации ужесточаются. Против Российского машиностроения действуют политические факторы.

Машиностроение России по большому счету исключено из международных синергетических проектов. Бывшие флагманы машиностроительной промышленности России (Уралмашзавод, АвтоВАЗ, станкостроительные комплексы Иваново, Ульяновска, Краснодара, приборостроительный лидер ЛОМО, транспортное машиностроение Твери и т.д.) теряют свою значимость.

Радикальным методом решения проблемы машиностроительных отраслей России является разработка целевой программы промышленного развития России, ее реиндустриализация на основе синергетического реинжиниринга. Синергетический реинжиниринг включает перескок на платформы 6-го технологического уклада, модернизацию оборудования, реконструкцию зданий и сооружений, перестройку, реорганизацию производства, адаптацию организационно-экономического механизма под когерентное форсайт-проектирование технологических процессов; модернизируются организации производства, управления и инфраструктуры.

Форсайт-проектирование из будущего в настоящее (а не из прошлого в настоящее) требует глубокого погружения стратегического планирования и проектирования в проблемы, тренды, прорывы 4-ой индустриальной революции [1].

Развернувшаяся в мире 4-ая индустриальная революция возможно превратит машиностроение в одну глобальную технологическую сеть с кластерно-гибридными подотраслями, объединенными единой синхронизированной системой управления. Технологические и логистические цепочки машиностроительной отрасли (с огромным количеством подотраслей) в ходе 4-ой индустриальной революции могут стать первой глобальной технологической сетью, управляемой на основе обработки информационных потоков и новых видов проектирования (3D, 4D и т.д.). Синергетическое развитие машиностроения вероятно, но оно может быть построено при некоторых политических условиях, реализация которых потребует глобального лидерства.

Высокоразвитые регионы России могут приступить к созданию локальных гранулированных производственных систем на уровне республик и областей и отдельных входящих в них территорий уже в настоящее время.



В Республике Татарстан, например, создается инновационно-промышленный кластер ИнноКАМ, имеющий целью сформировать в агломерации, включающей город Набережные Челны и муниципальные образования Елабужское, Нижнекамское, Менделеевское и Заинское, кластер, выполняющий задачи синергетического реинжиниринга в мощной нефтехимической промышленности (центр Нижнекамск) и машиностроении региона (центр г. Набережные Челны). Не вызывают сомнений проекты, связанные с нефтехимией. Но дорожная карта, программирующая развитие машиностроения пока не имеет ярких проектов, отвечающих признакам Четвертой индустриальной революции: горизонтальная интеграция, ориентация на положительную синергию, кластерная гибридикация, создание инновационно-технологических и научно-исследовательских центров на узловых направлениях машиностроения. Их разработка – стратегическая задача региона.

Отстающим звеном в технологических цепях машиностроения в Челнинской агломерации было заготовительное производство (литейное, кузнечное, пресовое и т.д.) при том, что на данной территории были построены мощные литейный, кузнечный и пресово-рамный заводы с комплексом современного исследовательского оборудования. Но организационная неразбериха 1990-х годов привела к тому, что в городе Набережные Челны возникли, например, кроме крупнейшего по проектной мощности Литейного завода ПАО КАМАЗ, возникло 26 небольших, кустарных, без необходимой лабораторной базы для обеспечения качества, литейные заводы и производств. Также возникли десятки кузниц, штамповочных, гальванических «заводов» и производств. Это не развитие в XXI веке, в условиях развернувшейся технологической революции.

Решением проблемы малых машиностроительных предприятий в агломерации Набережных Челнов может стать ТОСЭР (территория опережающего развития), при которой можно создать удовлетворительную инфраструктуру получения высококачественной продукции, логистических хабов для материалов и полуфабрикатов и их контролю и первичной подготовке к запуску в производство для малых и средних предприятий [2].

Слабым звеном машиностроения в кластере ИнноКАМ является отсутствие научных заделов и научных школ. Ориентация на синергетические эффекты и реинжиниринг – стратегическая перспектива развития машиностроения Татарстана, способная изменить ситуацию.

### **Литература.**

1. Рифкин Д. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом/ Джереми Рифкин: Пер. с англ. – 2-е изд. – М. Альпина конфикшин, 2015-410 с.
2. Кузнецов Б.Л. Локальные инновационные системы – Наб. Челны: Изд. ИНЭКА – 2006, 178С.

## ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В ПРОГРАММЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Насыров Искандар Наилович  
Насыров Рустам Искандарович  
Зиязетдинова Гульсирина Улфатовна

Набережночелнинский институт (филиал)  
Казанского (Приволжского) федерального университета  
423812 Республика Татарстан, г.Набережные Челны, пр. Суюмбике, д. 10А

**Аннотация:** Чтобы предотвратить ущерб от сбоев систем управления при отказах накопителей информации необходимо заранее знать какой из них выйдет из строя. В случае ступенчатой нелинейности зависимости показателя надежности точность прогнозирования в момент скачка удается существенно повысить за счет нейросетевого усреднения скорости изменения показателя по однородной группе накопителей. При разработке программы прогнозирования необходимо определить рыночную потребность в этом виде товаров. Предметом исследования является доходность продаж программы прогнозирования для привлечения в данный бизнес образованной молодежи. Обнаружено резкое различие максимумов на кривой Лаффера по доходности между мягким (10000 руб. в год) и однозначным (1000 руб. в год) вариантами проведенного опроса указывает на обязательность применения нескольких подходов при изучении мнения респондентов. Общая доходность бизнеса оценивается как относительно низкая.

**Abstract:** To prevent losses from control systems damage under data storages failures you must know forward which of them will fail. In case of step nonlinearities in reliability index the prediction accuracy at time of jump can be substantially improved by neural averaging of index changing rate over homogeneous drives group. Subject of research is market profitability of predicting software sales to attract in this business youth. Discovered large maxima difference on Laffer curve between soft (10000 rubles per year) and single (1000 rubles per year) polls indicates necessity of multiple approaches in respondents' opinions study. Overall business profitability is estimated as relatively low.

**Ключевые слова:** накопитель информации, надежность, прогнозирование, доходность, бизнес.

**Keywords:** data storage, reliability, predicting, profitability, business.

Несмотря на то, что сейчас технология твердотельных накопителей информации стремительно развивается, однако полностью вытеснить с рынка накопители на магнитных дисках им не удастся. Это обусловлено, в первую очередь, относительной дешевизной магнитных накопителей, во вторую очередь, присутствием твердотельным накопителем существенными недостатками. А появившиеся в последнее время гибридные накопители,

сочетающие в себе элементы обоих типов, что позволило уменьшить недостатки и сохранить преимущества, сделали их лидерами продаж.

Главным свойством, на что надо обращать внимание при выборе марки накопителя, это его надежность. Ведь если он сломается, то вся накопленная информация может исчезнуть. Особенно опасна данная ситуация для накопителей, используемых в серверах систем управления крупных компаний.

Для предотвращения подобных ситуаций был разработан метод прогнозирования надежности функционирования накопителей. Однако при анализе зависимости основного показателя – количества переназначенных секторов была обнаружена нелинейность в виде ступенек, длящейся до нескольких лет [1, 2]. При ступенчатом изменении показателя прогноз получался весьма завышенным.

С помощью разработанного метода точность прогнозирования в момент скачка удается существенно повысить за счет нейросетевого усреднения скорости изменения показателя по однородной группе накопителей. Но прежде чем переходить к созданию программы, основанной на данном методе, необходимо определить рыночную потребность в этом виде товара.

Поэтому предметом исследования является доходность продаж программы прогнозирования для привлечения в данный бизнес образованной молодежи. Исходя из этого целью исследования является оценка самими молодыми людьми доходности продаж программы прогнозирования в зависимости от цены.

Для определения текущих предпочтений молодежи с 26.11.2015 по 09.12.2015 был проведен опрос среди студентов экономических направлений Набережночелнинского института Казанского федерального университета на тему: «Сколько рублей в год я готов заплатить за программу прогнозирования надежности накопителей информации?». Рассмотрены пять вариантов: 0, 10, 100, 1000, 10000 руб. в год. Использовались два способа опроса: мягкий – путем распределения студентами 100% своего предпочтения среди предложенных вариантов, однозначный – путем выбора только одного варианта. На основе полученных результатов вычислялось среднеарифметическое значение. Кроме этого, для исключения влияния завышенных величин (так называемых выбросов), посредством суммирования числа людей, указавших конкретное или большее предпочтение, определялась граница, где количество людей начинало превышать половину всех опрошенных. Эта граница принималась за мнение большинства из них. Всего в опросе участвовало 167 человек, из них 99 девушек и 68 юношей.

Получено, что при любом способе опроса и обработки данных две суммы ежегодной оплаты (100 и 1000 руб.) получают наиболее предпочтительными (рис. 1).

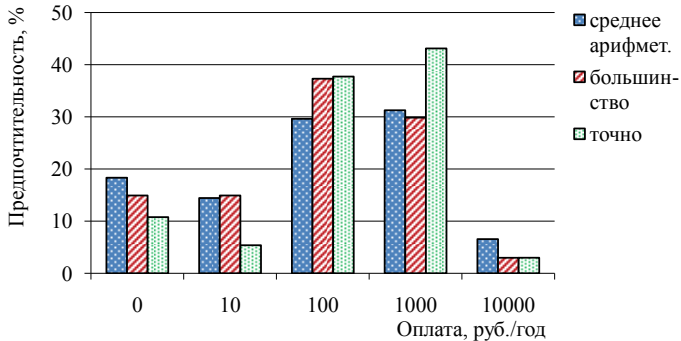


Рисунок 1. Предпочтительность ежегодной суммы оплаты за программу прогнозирования надежности накопителей информации: слева в каждой группе – при среднеарифметическом усреднении всех мнений при мягком опросе, посередине – мнение большинства, справа – усредненное однозначное мнение

Зависимости суммарных накапливаемых долей респондентов, согласных платить данные или большие суммы, по форме совпадают с типичными зависимостями при подобных социологических опросах, что подтверждает достоверность полученных результатов (рис. 2).

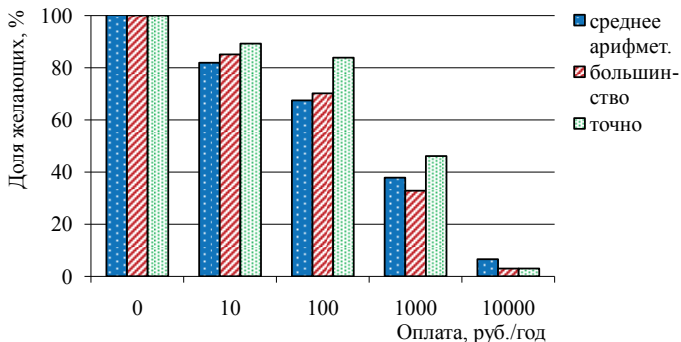


Рисунок 2. Суммарная накапливаемая доля опрошенных, согласных платить не ниже данной суммы за программу прогнозирования надежности накопителей информации

При оценке доходности продаж программы прогнозирования надежности накопителей информации с помощью кривой Лаффера путем перемножения общего количества желающих внести указанную и более высокую плату на саму сумму ежегодной оплаты в первом случае максимум находится при оплате в 10000 руб. в год, а в двух других – при 1000 руб. в год (рис. 3). Распределение доходности на кривой Лаффера от суммы ежегодной оплаты тоже является типичным для социологических опросов, что опять же подтверждает

достоверность полученных результатов.

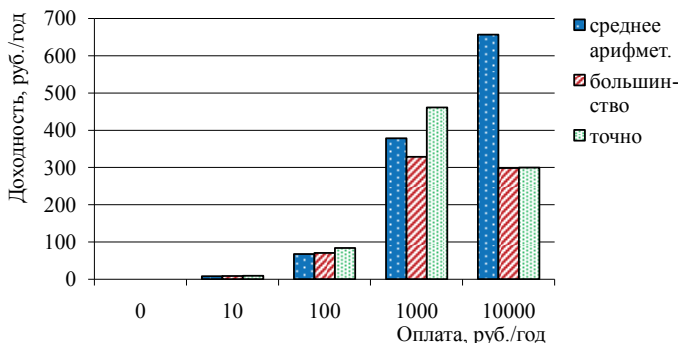


Рисунок 3. Доходность на кривой Лаффера от ежегодной оплаты за программу прогнозирования надежности накопителей информации

Для получения существенных сумм дохода при выявленных ценовых предпочтениях требуется значительный объем продаж. Скорее всего большого количества корпоративных клиентов охватить не удастся, поэтому общую доходность бизнеса, особенно на начальном этапе, можно оценить как низкую.

Обнаруженное резкое различие максимумов на кривой Лаффера по доходности между мягким и однозначным вариантами опроса указывает на обязательную необходимость применения нескольких подходов при изучении мнения респондентов.

Наблюдается воспроизводимость некоторых результатов при сравнении с ранее проведенными опросами на другой группе респондентов за два года до представленного в настоящей работе [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00002 мол\_а.

### Список литературы

1. Насыров Р.И. Критерии и показатели ранжирования накопителей информации по степени надежности // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 10. С. 30-35.

2. Насыров Р.И. Показатели ранжирования накопителей информации по степени надежности // VIII Камские чтения: всерос. научн.-практ. конф. (Набережные Челны, 22 апреля 2016): сб-к док. В 3-х ч. Часть 1. Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института КФУ, 2016. С. 122-124.

3. Насыров Р.И. Потребность в программе прогнозирования надежности накопителей информации в компьютерах частных пользователей // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 169-172.

## ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

*Пермяков Дмитрий Николаевич*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Набережные Челны  
423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д. 68/19 (1/18)*

**Аннотация:** в статье анализируется характер и величина износа распределителей ДВС грузовых автомобилей, а также материалы и технологии упрочнения, которые обеспечивают уменьшение износа и повышения эксплуатационной надежности.

**Abstract:** the article examines the nature and magnitude of wear of camshafts of internal combustion engines of trucks, as well as the materials and technologies of hardening, which provide reduced wear and improve operational reliability.

**Ключевые слова:** износ, наплавка, напыление, плазменная металлизация, детонационное нанесение.

**Введение.** Анализ технического состояния деталей бывших в эксплуатации установил, что экономически целесообразно провести восстановление около 40% деталей и повторно их использовать в эксплуатации.

Одной из наиболее нагруженных деталей и определяющий ресурс работы двигателя является распределитель. Поэтому повышение ресурса его работы является важной и актуальной задачей как с технической, так и с экономической точки зрения.

**Цель работы:** изучение характера и величины износа распределителя при эксплуатации, а также разработка технологий восстановления ремонтнопригодных деталей с применением плазменного напыления тугоплавких элементов.

Износ распределителя протекает постоянно, начиная с момента работы соединения, но происходит неравномерно. Различают три периода:

1. Первичный износ (приработка) сопряженной пары;
2. Нормальный износ (эксплуатационный), протекающий пропорционально времени работы соединения.
3. Аварийный износ трущейся пары. Он наступает вследствие нарушения кинематических и гидродинамических условий работы соединения.

Для повышения износостойкости трущихся деталей путем уменьшения первичного износа целесообразно создавать поверхности скольжения, шероховатость которых соответствует шероховатости поверхностей приработанных деталей. На первичный износ сопряженных деталей влияет форма и высота микронеровностей.

Увеличение высоты неровностей по сравнению с оптимальным значением повышает износ, который протекает интенсивно даже при сравнительно небольших эксплуатационных нагрузках, так как при этом на вершинах выступов возникает высокое удельное давление, в результате чего происходит разрыв масляного клина и срезание микронеровностей (рисунок).

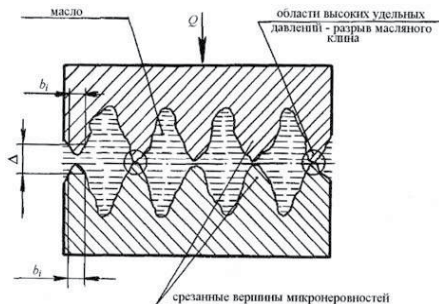


Рисунок. Характер протекания износа.

Усталостное изнашивание поверхности трения или отдельных ее участков в результате повторного деформирования микрообъемов материала, приводит к возникновению трещин и отделению частиц от детали, которое происходит при качении и скольжении. Износ обуславливается микропластическими деформациями и упрочнением поверхностных слоев трущихся деталей. При этом имеют место напряженное состояние активных объемов металла у поверхности трения и особые явления усталости при знакопеременных нагрузках, вызывающих трение металла в поверхностных слоях и, как следствие, их разрушение. Основным дефектом распределительного вала является износ вершин кулачков с незначительным износом по профилю [1].

На сегодняшний день существуют несколько методов восстановления изношенных деталей:

- Метод обработки поверхностным пластическим деформированием, при котором в зоне деформирования металл с легирующими элементами нагревается до пластического состояния создавая благоприятные условия для диффузирования легирующих элементов в поверхностный слой изделия.

- Вторым методом восстановления распределительного вала ДВС можно считать метод детонационного нанесения порошковых покрытий который основан на использовании энергии детонации в газах.

- Эффективным вариантом восстановления распределительного вала ДВС можно считать метод, плазменной металлизацией который позволяет получать покрытия из тугоплавких и износостойких материалов, в том числе из твердых сплавов. Этот способ основан на способности газов переходить при определенных условиях в состояние плазмы [2].

Для плазменного напыления используем специальные установки, выпускаемые промышленностью, например, установки типа УМП-4-64. Данная установка предназначена для напыления тугоплавких материалов: вольфрама, двуокиси циркония, окиси алюминия.

Промытые валы дефектуются по опорным шейкам, кулачкам, шпоночному пазу. После дефектации распределительные валы с кулачками, требующими восстановления, направляются на наплавку если номинальный износ кулачков

по вершине составляет  $50,70 \pm 0,05$  (вп.) и  $50,87 \pm 0,05$  (вып.) при предельном допустимом без ремонта 50,60.

После поверхность детали подвергается пескоструйной обработке, желательного непосредственно перед процессом покрытия. Помимо создания шероховатой поверхности, удаляется пленка адсорбированного воздуха и влаги, препятствующая контакту между напыляемыми частицами и деталью. В место кварцевого песка, который вреден, применяем порошок корунда, карбида кремния и крошку белого чугуна. При коррозионностойких материалах крошку белого чугуна не применяем, так как его частицы, остающиеся на поверхности изделия, могут вызывать местную коррозию [3].

Перед напылением основного покрытия напыляем подслои из соответствующих материалов.

При плазменном напылении поверхность не следует перегревать свыше температуры  $300^{\circ}\text{C}$ , так как при этом возникают внутренние напряжения, которые могут привести к разрушению покрытия. Для предупреждения перегрева поверхность около места напыления охлаждаем сжатым воздухом, поток которого направляем на покрытие с помощью дополнительного кольцевого сопла, окружающего мундштук горелки.

Угол напыления, т.е. угол между осью сопла горелки и поверхностью, должен составлять  $90-60^{\circ}$ . При угле, меньшем  $60^{\circ}$ , энергия удара частиц о поверхность снижается, что ухудшает прочность покрытия [4].

Для получения равномерного по толщине и однородного по качеству покрытия применяем различные средства механизации процесса. Наиболее простой и доступный из них - токарный станок, в патрон которого устанавливают напыляемую деталь, а в суппорт – горелку [5].

В качестве плазмообразующего газа применяем азот. Добавление к азоту 5-10% водорода повышает производительность процесса, но требует источника тока с рабочим напряжением 110-120В вместо 85-95В при одном азоте. Аргон можно использовать только в смеси с водородом или азотом, так как при одном аргоне рабочее напряжение не превышает 35В, что резко снижает тепловую мощность горелки и ее производительность.

**Вывод:** Выполнен анализ и систематизированы сведения по износу газораспределительного механизма и установлена необходимость восстановления 40% деталей, вышедших из эксплуатации.

Предложены материалы и технологии нанесения плазменных покрытий на изношенные поверхности деталей, обеспечивающие придание первоначальных эксплуатационных характеристик, предусмотренных для новых деталей.

### *Список использованных источников*

1. Пермяков Д.Н. Моделирование степени износа и восстановление распределительного вала КАМАЗ методом плазменной металлизации / Д.Н.Пермяков //Ежемесячный научный журнал «Prospeto» -2015. - №8 (20)- С. 35-39.



2. Пермяков Д.Н. Анализ материалов и технологий упрочнения распредвалов двигателей внутреннего сгорания грузовых автомобилей / Д.Н.Пермяков //Научно-методический журнал «Наука, техника и образование» -2016. - №7 (25)- С. 58-61.

3. Технология упрочнения машиностроительных материалов: учеб. пособие-справочник / Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н.; Под редакцией д. т. н., проф. В. Д. Евдокимова. – Одесса Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.

4. Новиков В.Г. Справочник. Инженерный журнал / В.Г.Новиков, А.А.Федлров, Д.О.Бытеев. // М.: Изд.дом "Спектр"-2004. - №7.- С.24-31.

5. Канарчук В.Е. Курс восстановления автомобильных деталей: Технология и оборудование / Канарчук В. Е., Чигринцев А. Д – М.: Транспорт, 1998,- 303 с.

УДК 620.193.2

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНОСТИ СОЛЯНОГО (МОРСКОГО) ТУМАНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ В КАМЕРЕ SST-20MS**

Петров Евгений Вячеславович – инженер по испытаниям ПАО ААК «ПРОГРЕСС», студент 2-го курса очной магистратуры ИрГУПС;

Егоров Анатолий Юрьевич, студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве;

Собеников Андрей Николаевич, студент филиала ДВФУ в г. Арсеньеве.

Научные руководители: Гасельник Владимир Валерьевич – доцент кафедры «Физика, механика и приборостроение» ИрГУПС; Денисенко Юрий Петрович – управляющий директор ПАО ААК «ПРОГРЕСС»; Бердиев Олег Шамильевич – заместитель директора филиала ДВФУ в г. Арсеньеве по НИР и развитию, e-mail: berdiev553@mail.ru

Публичное акционерное общество «Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина» (ПАО ААК «ПРОГРЕСС»),  
692335, Приморский край, г. Арсеньев, пл. Ленина, 5

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Иркутский государственный университет путей сообщения" (ФГБОУ ВПО ИрГУПС), ул. Чернышевского, 15, г. Иркутск, 664074www.irrit.irk.ru

Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» в г. Арсеньеве ул. Островского, д. 20, г. Арсеньев, 692331

**Аннотация:** Рассматриваются два способа определения водности соленого тумана в испытательной камере SST-20MS: с помощью коллекторов, входящих в состав камеры и с помощью «прибора Зайцева». По итогам исследования предлагается для внедрения оборудование по определению водности, которое будет учитывать недостатки применяемых ныне способов.

*Ключевые слова:* водность, SST-20MS, соленой туман.

**Введение.** Самым распространенным типом испытания на коррозионную стойкость является испытание изделий на воздействие соленого тумана. Камера соленого тумана SST-20MS повторяет естественные условия среды и ускоряет их. Поэтому по результатам данного вида испытаний можно прогнозировать жизненный цикл изделий[5]. На рисунке 1 изображена испытательная камера SST-20MS.



Рисунок 1. Камера SST-20MS

В ПАО ААК «ПРОГРЕСС» с помощью указанной камеры подвергают испытаниям: колодки, крышки заливной горловины, наконечники и другие изделия.

Водность соленого тумана в камере при испытаниях должна быть в диапазоне от 2 до 3 г/м<sup>3</sup>. (Справка: водность – это общая масса капель жидкости в единице объема воздуха).

**Определение водности.** Процесс испытаний аппаратуры должен периодически контролироваться путем анализа проб среды, содержащейся в камере [2]. Это позволяет:

Во-первых, исключить ошибки, обусловленные несоответствием параметров испытания, установленным нормам. При периодическом контроле уже в самом начале испытания продукции - можно выявить и устранить неполадки, например засорение распылителя.

Во-вторых, регулировать параметр водности и контролировать его, как того требуют испытания. Регулировка осуществляется путем увеличения или уменьшения температуры и давления распыления соленого раствора. Эта процедура позволит существенно повысить точность испытания [3].



Рисунок 2. Измерительная

Для определения водности соленого тумана в камере предусмотрены коллекторы (справка: коллектор – это измерительный цилиндр со вставленной в него стеклянной воронкой, диаметром 10 см.). Определить водность коллектором можно только по истечении не менее 16 часов работы камеры [4]. С помощью данного способа невозможно найти водность, в конкретный момент времени. Это значит, что данное устройство не подходит для периодического контроля параметров соленого тумана в процессе испытания.

На рисунке 2 изображена колба, по шкале которой определяют водность. В колбу раствор попадает напрямую из коллектора.

Водность в любой момент проведения испытания можно определить «прибором Зайцева». Это вспомогательное устройство, представляющее собой ручной насос, внутри которого находится кассета с фильтровальной бумагой. Этим устройством через специальное отверстие в камере «закачивается» определенный объем воздуха. Воздух проходит через фильтровальную бумагу, а капли воды, содержащиеся в этом воздухе, оседают на ней. В итоге, на бумаге можно наблюдать пятно, состоящее из множества капель. Масса этого пятна определяется из градуированной таблицы по его диаметру. Чтобы найти водность соленого тумана нужно знать значение массы пятна и объема прокачанного воздуха. Использование ручного способа «закачки» воздуха и градуированных таблиц не может дать высокой точности измерения.

Структурная схема этого устройства изображена на рисунке 3.

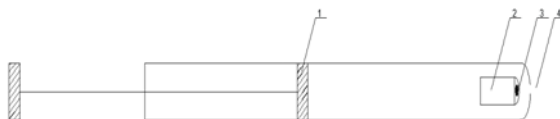


Рисунок 3. Структурная схема прибора Зайцева: 1-поршень; 2-кассета; 3- фильтровальная бумага с пятном; 4- отверстие для взятия проб.

**Решение задачи.** Взяв за аналог/прототип «прибор Зайцева», можно предложить для внедрения оборудование, которое позволит существенно повысить точность, а также скорость вычисления. Схема оборудования для определения водности приведена на рисунке 4.

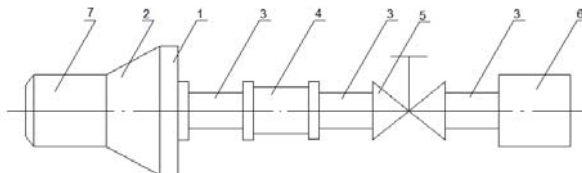


Рисунок 4. Схема оборудования: 1-фильтр; 2-держатель для фильтра; 3-труба; 4-ротаметр РМ6-25 ГУЗ; 5-кран; 6- насос вакуумный 2НВП 18-5ДМ; 7- заборная труба.

Сопутствующие устройства: аналитические весы AcculabAtilon, секундомер.

**Принцип действия.** Предложенное оборудование внешне похоже по принципу работы на «прибор Зайцева». С помощью вакуумного насоса 6 воздух через заборную трубу 7 проходит через фильтр 1, на котором оседает раствор. Далее, идет по трубе 3 через ротаметр 4, который вычисляет скорость пройденного через него воздуха. Кран 5 служит для регулировки скорости «выкачивания» воздуха из камеры.

#### **Определение водности данным оборудованием**

Расчет водности производится по формуле (1).

$$W = \Delta M / Q * T \quad (1)$$

где:

$\Delta M$ - разность массы фильтра до и после отбора, г;

Q- скорость прохождения воздуха через фильтр, м<sup>3</sup>/с;

T – время забора пробы, с;

W- водность раствора, г/ м<sup>3</sup>.

**Вывод.** Предложенное оборудование позволяет определять водность соленого тумана в любой момент времени испытания. По сравнению с прибором Зайцева оно более точное, что обусловлено использованием надежных комплектующих и современных методов вычисления. Практические испытания это подтвердили. Также время измерения существенно сократилось.

Оборудование было собрано из тех комплектующих и материалов, которые уже были на складе цеха.

Дальнейшая работа будет производиться в части уменьшения габаритных размеров оборудования.

#### **Список литературы**

1) Камера соленого тумана SST-20MS. Техническая инструкция. ООО «Сантек 2», Москва, 2012

2) ГОСТ РВ 20.57.307-98 «Методы испытаний на воздействие специальных сред».

3) ГОСТ Р 52763-2007 «Испытания на воздействие соленого тумана».

4) ГОСТ Р 55001-2012 «Требования к характеристикам камер для испытаний технических изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам».

5) ГОСТ 28234-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытание Кв. Соляной туман, циклическое (раствор хлорида натрия).

## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Пуряев Айдар Султангалиевич*  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережночелнинский*  
*институт, Россия*  
*420008, Казань, ул. Кремлевская, 18.*  
*aidarp@mail.ru*  
*AidarS.Puryaev*  
*Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute,*  
*Kazan, Russia*  
*aidarp@mail.ru*

### **Аннотация**

Цель работы – апробация разработанной методики по оценке эффективности инноваций. Продемонстрирована альтернативная оценка эффективности инноваций (инновационных проектов) в машиностроении на условном примере. Предлагается как альтернатива традиционной методике, основанной на стоимостной концепции и методе “Cashflow”.

**Ключевые слова:** частные параметры оценки, функция желательности, лингвистические переменные

### **Abstract**

The work purpose – approbation of the developed technique on an efficiency evaluation of innovations. The alternative efficiency evaluation of innovations (innovative projects) in mechanical engineering on a conditional example is shown. It is offered as an alternative to the traditional technique based on the cost concept and the method "Cash flow".

**Keywords:** private valuation parameters, the desirability function, linguistic variables

Наряду с необходимостью внедрения новшеств во все сферы человеческой деятельности, в т.ч. и в производство машин, автомобилей и другой техники возникает немаловажный вопрос оценки эффективности инновационных проектов. Люди, мыслящие только экономическими категориями могут возразить и заявить об отсутствии актуальности такого вопроса, т.к. любая инновация, по их мнению, приносит эффект колоссальный в стоимостном выражении; инновация это создание новой технологии, которая позволит сегодня изменить жизнь потребителей и только положительно; это создание новой продукции, позволяющей удовлетворить вкусы, предпочтения потребителей в текущий момент времени. Но остаётся без должного внимания другая сторона медали – следствия этой инновации в долгосрочной перспективе в основном во внеэкономических системах общества (национальная безопасность, экологическая сфера, социальная система, наука и техника, культура и традиции страны). Причем следствия этой инновации могут быть далеко не положительными. Поэтому нами поднимается неоднократно вопрос оценки эффективности инвестиционных проектов, в т.ч. и

инновационных проектов (инноваций) как актуальный и альтернативный традиционной экономической оценке эффективности инвестиций. Альтернативная методология оценки, основанная на авторской концепции “*Compramultifactor*”, позволяет учесть при оценке нестоимостные, количественные и качественные параметры проекта, особенно инновационного, направленного на изменение качества деятельности и жизни в целом.

В статье под названием *Evaluating innovative projects' effectiveness at industrial enter prices*, опубликованной в сборнике конференции ICIE-2016 («ПромИнжиниринг», ЮУрГУ, 2016) представлена общая методика оценки инновационных проектов для промышленных предприятий. В данной статье предполагается продемонстрировать её работу на условном примере оценки инновационных проектов машиностроения.

Лицу, принимающему решение (ЛПР) необходимо оценить эффективность трех инвестиционных проектов по внедрению инновации (три инновационных проекта). У ЛПР имеются ограничения по оцениваемым частным параметрам оценки (ЧПО), а также их статус (строгое–strict; желательный уровень–desirable). Каждый проект имеет свое значение по каждому ЧПО, т.е. все проекты сопоставимы и тождественны. В таблице 1 представлены эти исходные данные.

Таблица 1 – Значения ЧПО оцениваемых инновационных проектов и ограничения (желательные уровни) по ним

№ п/п	Группа критических параметров оценки эффективности	Инновационные проекты			Ограничения (желательные уровни)	
		ИнП1	ИнП2	ИнП3		
Подгруппа качественных параметров						
1	Соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники (8 направлений), перечню критических технологий Российской Федерации (27 технологий) [1]	да	да	да	да	strict min
2	Факт импортозамещения и (или) уникальности	да	да	да	да	strict min
3	Параметр неопределенности и риска(НР) при реализации проекта, баллы	2,1	2,25	2,6	2,5	desirable min
4	Параметр качества исполнения функций (КИФ) проектом, баллы	2,7	3,1	3,5	3	desirable min
Подгруппа количественных параметров		<b>ИнП1</b>	<b>ИнП2</b>	<b>ИнП3</b>	<b>Ограничения (желательные уровни)</b>	
5	Параметр национальной безопасности (ресурсная безопасность, РБ),% (лингвистическая переменная)	40	45	50	40	strict min

6	Параметр снижения риска техногенных катастроф и техногенного воздействия (единицы сокращения выбросов парниковых газов), т CO <sub>2</sub> e/ год (лингвистическая переменная)	50000	55000	75000	50000	strict min
7	Параметр ускорения роста ВВП(ТАДС), % (лингвистическая переменная)	25	22,5	20	20	strictmin
	<b>Группа экономических параметров оценки эффективности</b>	<b>ИнП1</b>	<b>ИнП2</b>	<b>ИнП3</b>	<b>Ограничения (желательные уровни)</b>	
8	Чистая текущая стоимость проекта ( <i>NPI</i> ), тыс.руб.	1279	1554	2260	1000	strict min
9	Внутренняя норма доходности проекта ( <i>IRR</i> ), %	40	32	34	25	strict min
10	Дисконтированный срок окупаемости инвестиций ( <i>T<sub>окд</sub></i> ), лет	3,25	4	4,5	5	strict max
11	Капиталовложения в проект ( <i>KI</i> ), тыс.руб.	5560	6240	8500	10000	strict max

*Задача.* Применив концепцию и методику “*Compramultifactor*”[2,3,4] оценить эффективность выше представленных инновационных проектов (ИнП) и выбрать оптимальный (эффективный) вариант инновационного проекта по критерию  $D \rightarrow \max$ .

В таблице 2 представлены расчетные значения частных функций желательности ( $d$ ) для всех оцениваемых параметров, а также обобщенные параметры оптимизации ( $D_j$ ) оцениваемых инновационных проектов по группе критических параметров оценки эффективности.

Для решения данной задачи оптимизации предлагается использовать метод функции желательности Харрингтона [5], которая имеет вид:

$$d_{ij} = e^{-e^{-y'_{ij}}} \quad (1)$$

где  $d_{ij}$  – частная функция желательности с односторонним ограничением для  $i$ -го параметра  $j$ -го инновационного проекта;

$y'_{ij}$  – кодированное (нормированное) значение  $i$ -го частного параметра  $j$ -го инновационного проекта, переводимого в шкалу желательности.

Обобщенная функция желательности Харрингтона (критерий оптимизации)  $j$ -го инновационного проекта ( $D_j$ ) определяется как среднегеометрическое частных желательностей по формуле:

$$D_j = \sqrt[n]{d_{1j} \cdot d_{2j} \cdot d_{3j} \cdot \dots \cdot d_{ij} \cdot \dots \cdot d_{nj}} \quad (2)$$

Таблица 2 – Частные желательности параметров ( $d_{ij}$ ) и обобщенные параметры оптимизации ( $D_j$ ) оцениваемых инновационных проектов по группе критических параметров оценки эффективности

№ п/п	Группа критических параметров оценки эффективности	Инновационные проекты		
		ИнП1	ИнП2	ИнП3
Подгруппа качественных параметров				
1	Соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники (8 направлений), перечню критических технологий Российской Федерации (27 технологий)	0,37	0,37	0,37
2	Факт импортозамещения и (или) уникальности	0,37	0,37	0,37
3	Параметр неопределенности и риска (НР) при реализации проекта, баллы	0,309	0,331	0,383
4	Параметр качества исполнения функций (КИФ) проектом, баллы	0,331	0,380	0,429
Подгруппа количественных параметров				
5	Параметр национальной безопасности (ресурсная безопасность, РБ),% (лингвистическая переменная)	0,37	0,403	0,435
6	Параметр снижения риска техногенных катастроф и техногенного воздействия (единицы сокращения выбросов парниковых газов), т CO <sub>2</sub> e/ год (лингвистическая переменная)	0,37	0,403	0,5
7	Параметр ускорения роста ВВП(ТДЦ), % (лингвистическая переменная)	0,435	0,403	0,37
	<b>Обобщенный параметр оптимизации (<math>D_{1-7}</math>)</b>	<b>0,363</b>	<b>0,379</b>	<b>0,406</b>
	<b>Рейтинг инновационного проекта</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Далее необходимо оценить желательности ЧПО экономической группы для всех инновационных проектов. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Частные функции желательности параметров экономической группы и обобщенный параметр оптимизации проектов по ним

	Экономическая группа	ИнП1	ИнП2	ИнП3
8	Чистая текущая стоимость проекта ( $NPV$ ), тыс.руб.	0,469	0,563	0,753
9	Внутренняя норма доходности проекта ( $IRR$ ), %	0,578	0,470	0,498
10	Дисконтированный срок окупаемости инвестиций ( $T_{окд}$ ), лет	0,494	0,441	0,405
11	Капиталовложения в проект ( $KV$ ), тыс.руб.	0,527	0,503	0,423
	<b>Обобщенный параметр оптимизации (<math>D_{э}</math>)</b>	<b>0,515</b>	<b>0,492</b>	<b>0,503</b>
	<b>Рейтинг инновационного проекта</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Из расчетов видно, что первый проект (ИнП1) является приоритетным при использовании традиционной экономической оценки эффективности (не учитывая ограничения и желательные уровни группы критических параметров). Правильно будет совместить оценки по критической группе и экономической следующим образом. Определим обобщенный критерий оптимизации инновационных проектов по формуле (3) и сведем результаты в таблицу 5:



$$D_j = \sqrt[5]{D_{1-7j} \cdot d_{8j} \cdot d_{9j} \cdot d_{10j} \cdot d_{11j}} \quad (3)$$

где  $D_{1-7j}$  – обобщённая желательность (параметр)  $j$ -го инновационного проекта по группе критических параметров оценки (по 7 параметрам);

$d_{8j}$ ,  $d_{9j}$ ,  $d_{10j}$ ,  $d_{11j}$  – частные желательности группы экономических параметров

Таблица 5

	Экономическая группа и $D_{1-7j}$	ИнП1	ИнП2	ИнП3
8	Чистая текущая стоимость проекта ( $NPV$ ), тыс.руб.	0,469	0,563	0,753
9	Внутренняя норма доходности проекта ( $IRR$ ), %	0,578	0,470	0,498
10	Дисконтированный срок окупаемости инвестиций ( $T_{окл}$ ), лет	0,494	0,441	0,405
11	Капиталовложения в проект ( $KI$ ), тыс.руб.	0,527	0,503	0,423
	<b>Обобщенный параметр оптимизации (<math>D_{1-7j}</math>)</b>	<b>0,363</b>	<b>0,379</b>	<b>0,406</b>
	<b>Обобщенный параметр оптимизации (<math>D_j</math>)</b>	<b>0,481</b>	<b>0,467</b>	<b>0,482</b>
	<b>Рейтинг инновационного проекта</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Итак, используя альтернативную традиционной оценке эффективности проектов методику, мы смогли учесть ограничения и желательные уровни по заранее определенным параметрам критической группы (группы важных и необходимых на определенный момент времени частных параметров оценки различной физической сущности); совместить оценку внеэкономических и экономических параметров, представленных в различных шкалах (количественные: четкое и нечеткое множества; качественные, измеряемые экспертно) и в итоге получить оптимальное (эффективное) инновационное решение из совокупности существующих.

### Список источников

1. "The list of critical technologies of the Russian Federation" Kremlin [Kremlin]. 7 Jul. 2011. 27 Feb. 2016 <<http://kremlin.ru/supplement/988>>. (In Russian).
2. Puryaev A.S. (2015). Private Valuation Parameters of Efficiency the Investment Projects in the Concept "Compramultifactor". *ModernAppliedScience*. 9(11), 263-275.
3. Aidar S. Puryaev, 2015. The Mathematical Apparatus of Compromise of Efficiency Estimation of Investment Projects. *International Business Management*, 9: 856-861.
4. Kharisova A.R., Puryaev A.S. Competitiveness assessment of engineering products. Source of the Document IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 69, Issue 1, 2014, Article number 012020.
5. Harrington E. C. The desirable function. *Industrial Quality Control*, 1965, vol. 21, no. 10, pp. 494–498.

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ ГИБРИДНЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Сафин Т.Р., Коначина И.А., Хамидуллина Г.Р.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация.** На основе современных концепций системного анализа и синтеза сложных теплоэнергетических объектов дан алгоритм принятия решений по синтезу гибридной котельной установки высокой производительности. В качестве критериев эффективности рассматривались энергетический и эксергетический к.п.и. (коэффициент полезного использования).

**Abstract.** The decision-making analysis for synthesis of high-performance hybrid boilers is based on current philosophy of system analysis and synthesis of combined heat and power plants. Energetic and exergetic utilization is used as performance criteria.

**Ключевые слова:** системный анализ, синтез теплоэнергетических объектов, гибридная котельная, энергетическая эффективность

Обобщенное изложение метода системного анализа для сложных теплоэнергетических объектов приведено в [1]. Однако в силу особенностей структуры и режимов работы каждого нового теплоэнергетического объекта, реализация метода требует приложения основных методологических положений системного анализа, синтеза и оптимизации непосредственно к нему. В качестве такого объекта в нашем случае рассматривается высокопроизводительная гибридная котельная установка.

Установка представляет собой сочетание традиционного и альтернативных источников энергоресурсов. Традиционный источник вырабатывает тепловую энергию для отпуска внешним потребителям в виде горячей воды на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Собственные нужды котельной в тепловой энергии – на подогрев сырой воды, обогрев деаэратора и химически очищенной воды обеспечиваются альтернативным источником – солнечным коллектором [2] и теплотой, отводимой от внешнего теплоутилизатора дымовых газов [3].

Рассматривается вариант работы котельной в режиме мини-ТЭЦ с установкой газопоршневых двигателей на выработку электроэнергии на собственные нужды котельной и отпуск сторонним потребителям. Частичная выработка электроэнергии производится на базе альтернативного источника – солнечных батареях [2].

Таким образом, по своей структуре гибридная котельная представляет собой комбинированный источник тепловой и электрической энергии,

вырабатываемой как традиционным способом, так и на базе внедренных в схему котельной альтернативных источников – солнечных коллекторов и батарей.

Исходя из сложившейся концепции системного анализа, синтеза и оптимизации сложно-структурированных теплоэнергетических объектов, поиск оптимальной структуры и параметров гибридной котельной следует проводить в следующей последовательности [1].

1. Задаются внешние параметры системы, связанные с присоединением потребителей и взаимодействием с атмосферой.

2. Составляется структурное описание схемы гибридной котельной установки для выявления цепочек зависимых элементов (контуров), которые имеются в рассматриваемом объекте или могут появиться в ходе его преобразований.

В ходе структурного моделирования определяется количество уравнений  $n_y$ , необходимых для расчета того или иного элемента оборудования, с помощью системы уравнений [4]

$$\left. \begin{aligned} n_n &= n'_n + n_{n.y.} - n_{неопр.} \\ n_y &= n_n - n_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $n'_n$  - общее количество параметров входящих связей;  $n_{n.y.}$  - количество условий, наложенных на параметры входящих связей;  $n_{неопр.}$  - количество неопределённостей в параметрах выходящих из узла связей;  $n_n$  - количество независимых параметров узла;  $n_n$  - общее число параметров узла.

3. Далее производится построение математической модели объекта на основе балансовых уравнений и неравенств накладываемых параметрических ограничений. При этом используются принятые решения по декомпозиции исходного сложного объекта, выделения совокупностей элементов, образующих контуры, цепочек элементов, рассчитываемых последовательно, то есть используются результаты проведенного структурного анализа.

В ходе моделирования осуществляется поиск наилучшего сочетания параметров синтезируемого объекта по одному или нескольким критериям. В нашем случае – это энергетический и эксергетический к.п.и.

Задача формулируется следующим образом: найти наибольшее значение функции вида [5]

$$\Phi(X, \bar{X})_{\max} \quad \text{при} \quad (X, \bar{X}) \in R, \quad (2)$$

где  $R$  – область допустимых значений, задаваемая условиями

$$\begin{aligned}
 (f_p)_{\min} &\leq f_p(X, \bar{X}) \leq (f_p)_{\max}, & p = \overline{1, a} \\
 \bar{X}_{\min} &\leq \bar{X} \leq \bar{X}_{\max}, & \bar{X} \in \sigma_s; \\
 X &\in L_t
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

При этом предполагается, что при фиксированных значениях  $X$ , функции  $\Phi(\bar{X})$  и  $f_p(\bar{X})$  дифференцируемы.

Здесь  $X$  - совокупность дискретно изменяющихся параметров котельной установки;  $\bar{X}$  - совокупность независимых параметров, изменяющихся непрерывно (сезонные параметры, климатические условия и пр.);  $\sigma$  - совокупность характеристик внешних учитываемых факторов;  $f = \{f_1, f_2, \dots, f_a\}$  - совокупность технологических характеристик синтезируемой гибридной котельной, по которым задаются ограничивающие условия;  $\sigma_s$  - размерность рассматриваемого пространства;  $L_t$  - конечное множество дискретных элементов размерности  $t$ ; индексы «min» и «max» - указывают, соответственно на минимальное и максимальное значение.

В качестве критерия энергетической эффективности синтезируемого объекта рассматривался коэффициент полезного использования энергии (энергетический к.п.и.) [1]:

$$\eta_p = \frac{\sum \Delta Q_i^{\text{пол}}}{\sum \Delta Q_i^{\text{подв}}}, \tag{4}$$

В ф-ле (4) приняты следующие обозначения  $\Delta Q_i^{\text{подв}}$  - тепловой эквивалент затрат энергии, подведенной к объекту с  $i$ -тым потоком, кВт;  $\Delta Q_i^{\text{пол}}$  - тепловой эквивалент полезного эффекта восприятия энергии  $i$ -того потока, кВт.

В качестве критерия термодинамической эффективности рассматривался коэффициент полезного использования эксергии (эксергетический к.п.и.):

$$\eta_e = \frac{\sum \Delta E_i^{\text{пол}}}{\sum \Delta E_i^{\text{подв}}}, \tag{5}$$

В ф-ле (5) приняты следующие обозначения  $\Delta E_i^{\text{подв}}$  - затраты эксергии, подведенной к объекту с  $i$ -тым потоком, кВт;  $\Delta E_i^{\text{пол}}$  - полезный эффект восприятия эксергии  $i$ -того потока, кВт.

4. Поиск оптимального решения производится для всего диапазона параметров методом градиентов и соответствует сочетанию параметров, обеспечивающих максимальные показатели энергетического и эксергетического к.п.и.

Положения системного анализа были реализованы в приложении к реально действующему объекту – котельной ООО «Газпром-добыча Надым» для

климатических условий г. Надым [3]. Достижимый эффект от совершенствования структуры котельной установки оценивается на уровне 1320 т.у.т/год, что соответствует росту эффективности приблизительно на 10%.

### Литература

1. Коначина И.А. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. / И.А. Коначина, Ю.Г. Назмеев. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 407 с.

2. Хуснутдинова Э.М. / Э.М. Хуснутдинова, И.А. Коначина, Г.Р. Хамидуллина. // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование, материалы – 2015 (МНТК «ИМТОМ-2015»): Ч.1. – Казань: Фолиант, 2015. С. 334-338.

3. Сафин Т.Р. Оптимизация теплового режима водогрейного котла с внешним экономайзером. / Т.Р. Сафин, И.А. Коначина // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование, материалы – 2014 (МНТК «ИМТОМ-2014»): Ч.1. – Казань, 2014. С. 261-264.

4. Сазанов Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. / Б.В.Сазанов, В.И. Ситас. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

5. Коначина И.А. Обобщенная постановка задачи оптимизации режимных параметров при синтезе систем энерготехнологического комбинирования. / И.А. Коначина. Изв. вузов. «Проблемы энергетики». № 5-6, 2004. С.13-18.

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО БИЗНЕСА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Сиразетдинов Рифкат Талгатович (Казанский национальный исследовательский технический институт им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань), rif-kat@inbox.ru

Самодуров Алексей Викторович (АО «90 экспериментальный завод», г.Москва), alexgroup@bk.ru

Хуснутдинов Айдар Наилевич (Казанский национальный исследовательский технический институт им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань), mail.aidar@gmail.com

### Аннотация

В данном докладе предложен новый, конструктивный подход к понятию устойчивое развитие предприятия, заключающийся в раздельном использовании системных понятий «устойчивое» и «развитие», что позволило применить понятия надежности технических систем к производственным предприятиям. Предложены принципы структурного и динамического математического моделирования процессов функционирования предприятия,

позволяющие планировать его инновационное развитие, обеспечивающее устойчивую работу предприятия.

In the following paper we offer a new interpretation of sustainable development of an enterprise, based on separating the concepts of sustainability and development, and apply the concepts taken from reliability engineering to the functioning of an enterprise. The principles of structural and dynamic modeling of processes within a functioning enterprise suggested in this paper allow to effectively plan its strategic development and assure its sustainable functioning.

Ключевые слова: надежность, устойчивое развитие, предприятие, типовой производственный агрегат, структурная модель, динамическая модель

Понятие «устойчивое развитие» находится в употреблении с 1980-х годов. А в 1992 году в г. Рио-де-Жанейро на Форуме на уровне глав государств и правительств и Конференции ООН по окружающей среде и развитию [1] была констатирована необходимость перехода мирового сообщества на модель устойчивого развития, обеспечивающую баланс решения социально-экономических проблем и сохранения окружающей среды.

Академик РАН В.М.Матросов [2], один из известнейших специалистов мирового уровня по проблемам устойчивости и одним из первых начавший применение методов математического моделирования в парадигме «устойчивого развития», не раз подчеркивал, что «устойчивое развитие» - недостаточен точный перевод того, что имелось в виду на этом форуме. Интуитивно каждый по-своему понимает *устойчивое развитие*, хотя математически это выражение не совсем корректно. Обычно оно понимается как развитие, по крайней мере, экономический рост, который должен быть устойчивым, стабильным.

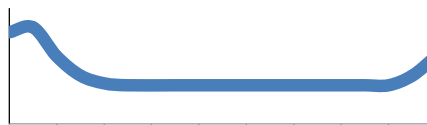
Нами предлагается внести более глубокий смысл в понятие «устойчивое развитие», разведив эти два понятия: «устойчивость» и «развитие». Предлагается следующее понимание *устойчивого развития*: развитие хозяйствующей системы должно происходить с условием выполнения принципа устойчивости его хозяйствующих подсистем. В этом случае некоторым образом меняются и стратегия управления народным хозяйством государства и его регионов, меняются как краткосрочные, оперативные, так и долгосрочные, стратегические цели системы управления экономикой, экологией, социальными, производственными процессами.

Данные научные исследования ведутся в рамках научной школы академика Академии наук Республики Татарстан Т.К.Сиразетдинова [3-8]. Рассматривается понятие сложной системы как системы, в которой одновременно могут проходить несколько самостоятельных процессов, т.е. система является многорежимной, многофункциональной и может выполнять задачи своими частями, подсистемами [9, 10]. Это позволяет допустить одновременное прохождение двух процессов: процесса развития и процесса обеспечения устойчивости.

В данной работе предложенные выше принципы устойчивого развития применяются к проблеме стратегического управления предприятием. Для этого предложен ряд структурных и информационно-логических и математических моделей функционирования предприятия, позволяющих планировать развитие предприятия, оценивая при этом степень его устойчивости.

Развитие предприятия может происходить только при условии выпуска новых видов продукции, выхода на новые рынки сбыта. Как известно, это сопровождается повышенными рисками. Если же предприятие придерживается старых наработанных видов бизнеса, которые обладают определенной надежностью, устойчивостью, то, со временем, рентабельность этого бизнеса снижается. Принцип устойчивого развития предприятия заключается в создании такого сочетания старого стабильного и нового рискованного бизнеса, чтобы предприятие развилось, осваивая новые рынки, но при этом оставалось устойчивым, надежным.

Для описания надежности бизнеса применим методы теории надежности технических систем. Как известно, интенсивность отказов технических систем имеет вид, приведенный на рис. 1. Как видно из графика, имеется начальный период, где наблюдается большая интенсивность отказов, связанная с приработкой элементов системы, затем идет длительный процесс стабильной работы системы, а в конце жизненного цикла снова интенсивность отказов возрастает. Эти же тенденции наблюдаются и при функционировании предприятий. Имеется начальный период, когда риски потери бизнеса достаточно велики, затем идет более или менее стабильный период, а затем, начинается «старение» бизнеса, и риски резко растут. До наступления этого момента для обеспечения развития предприятия необходимо запустить производство нового вида продукции. Тогда на предприятии проходят параллельно два процесса: один - стабильный, связанный со старым производством, достаточно надежный, но не имеющий будущего, и второй - инновационный, имеющий достаточно большие риски, но обладающий большими перспективами. Риски предприятия складываются из рисков этих двух процессов, и ставится задача гармоничного сочетания этих двух процессов, обеспечивающего, с одной стороны достаточной общей надежности предприятия, а, с другой, развития инновационной составляющей.

$$\lambda(t)$$


1

Рис. 1. Интенсивность отказов системы.

Нами предложены ряд подходов к структурному и математическому моделированию функционирования и развития предприятий, оценке рисков отдельных бизнесов и оценке надежности развития предприятия в целом.

В основу описания бизнес-процессов, в том числе производственных и технологических процессов, положена структурная модель так называемого *типового производственного агрегата* [11].

В рамках рассматриваемой проблемы основным исследуемым *процессом* является процесс производства. При этом рассматриваются все вспомогательные и обуславливающие процессы. Предложенная модель типового производственного агрегата позволяет описывать как процесс изготовления деталей на некотором станке, так и функционирование производственного участка или цеха, и процесс производства предприятия в целом. При этом предложенные типовые структуры могут собираться в параллельные и последовательные цепочки, а также агрегироваться в более крупные объекты – цеха, предприятия, холдинги и т.п.

В основу математической модели предприятия положена математическая модель бухгалтерского счета [6], которая в алгебраическом виде представляет собой систему уравнений вида:

$$S(t) = S(t - \Delta t) + U_{in}(t) - U_{out}(t) ,$$

где  $s(t)$  – остаток на счете,  $U_{in}$  – входящий поток ресурсов, оборот по дебету,  $U_{out}$  – выходящий поток ресурсов, оборот по кредиту,  $\Delta t$  – рассматриваемый период времени. При  $\Delta t \rightarrow 0$  мы переходим от дискретной модели к непрерывной, представляющей собой систему дифференциальных уравнений.

Предложенные выше модели позволяют строить прогнозы развития предприятия как многопродуктового производства, выпускающего как проверенную продукцию, обеспечивающую стабильное развитие, так и новую, рискованную на начальном этапе, но сглаживающую тенденцию к «старению» бизнеса впоследствии.

### Список литературы

1. Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Центр «За наше общее будущее». Женева, 1993.

2. Новая парадигма развития России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. Второе издание. М.: Издательство «Академия», Иркутск, 2000. – 460 с.

3. Сиразетдинов Т.К. Динамическое моделирование экономических объектов // Фэн, 1996.

4. Сиразетдинов Т.К., Родионов В.В., Сиразетдинов Р.Т. Динамическое моделирование экономики региона. Фэн Академия Наук РТ, 2005.



5. Сиразетдинов Р.Т., Бражкина А.А. Универсальная структурная модель типового экономического кластера // Управление большими системами. Выпуск 29. М.: ИПУ РАН, 2010. С.152-166.

6. Сиразетдинов Р.Т., Еникеев И.А. Структурная схема динамической экономико-математической модели предприятия на основе бухгалтерского плана счетов. // «Общество, государство, личность: Проблемы взаимодействия в условиях рыночной экономике». // VII межвузовская научно-практическая конференция, Казань, 2006. С.224-226.

7. Сиразетдинов Т.К. Динамическая модель прогнозирования и оптимальное управление экономическим объектом// Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 1972, №4. С.32-38.

8. Сиразетдинов Т.К., Джаксыбаев С.К. Динамическая модель взаимодействующих экономических объектов// Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 1974, №1. С.25-30.

9. Сиразетдинов Т.К. Сложные системы и задача аналитического проектирования. I, II // ИВУЗ авиационная техника, 1980. № 4. С. 59-64. 1981. № 2. С.51-55.

10. Сиразетдинов Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М. Машиностроение 1988г. 160с.

11. R. T. Sirazetdinov, A. V. Samodurov, A. N. Khusnutdinov, E. N. Tarchinskaya. Sustainable Development of Manufacturing Enterprises Based on Structural, Infological and Dynamic Modeling. 10-th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. 12-14 october 2016, Baku, Azerbaijan.

## **ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ФОРМАТЫ И ПРОБЛЕМЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Хамидуллина А.Ф., Кузьмина М.А., Хуснутдинова Э.М., Коначина И.А.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация.** Работа посвящена анализу проблем и перспектив развития инженерного образования в нашей стране и за рубежом. Особое внимание уделено современным форматам обучения, мотивирующим творческую активность будущих специалистов в инженерно-технической области, а также проблемам концептуального проектирования инженерного образования с учетом вызовов современности.

**Abstract.** This paper describes the analysis of problems and development perspectives of engineering education in our and other countries. Special attention is given to modern formats of education that motivate creative efforts of engineers-to-be as well as issues of conceptual engineering taking the challenges of modernity into account.

**Ключевые слова:** инженерия, образование, концептуальное проектирование

В связи с тем, что в мировой экономике в последние 10-20 лет наблюдается затяжной кризис, выход из которого требует глобальной перестройки всего мирового хозяйства и обостряет конкуренцию между ведущими игроками, это неизбежно приводит к значительным переменам в политике государств в области технического вооружения и подготовки квалифицированных кадров. Государственная политика РФ в образовательной сфере на протяжении ряда последних лет была направлена на превалирующее развитие инженерного образования. Объемы контрольных цифр приема на инженерные направления подготовки в ВУЗах неуклонно возрастали, и к 2015 г. превысили 50% от общего объема контрольных цифр приема. Как отмечается в Минобрнауки РФ, проблема количественного дефицита инженерных кадров к этому моменту была решена, но проблема качества их подготовки и поныне остается острой.

В целом, проблема качества образования характерна как для технических, так и для гуманитарных направлений подготовки новых поколений специалистов для отечественной промышленности и прикладной науки. Но именно в технической сфере готовится тот прорыв, который может вытянуть страну из затяжного экономического кризиса, вывести нашу промышленность на новые технологические рубежи, и создать надежную защиту от внешних агрессивных проявлений путем внедрения новейших типов вооружений.

Следует подчеркнуть, что нехватка высококвалифицированных инженерных кадров ощущается не только у нас в России. С конца 90-х годов прошлого века происходит «перетягивание» талантливых специалистов в экономически развитые страны Европы и Америки. Там недостаток внимания к такому сложному процессу как подготовка инженерных кадров, и стремление переместить производственные мощности на территории с низкой стоимостью труда, потребовало сначала перемещения центров подготовки кадров вслед за технологиями, а это, в свою очередь привело к резкому снижению интереса к данным видам деятельности у своей собственной подрастающей молодежи. Возникший дефицит восполняли (и восполняют до сих пор) за счет привлечения иностранных специалистов.

Длительное время у нас в РФ наблюдалось обескровливание отечественной науки за счет оттока молодых профессионалов и старения преподавательских кадров в вузах. Наши молодые специалисты уезжали за рубеж или переориентировались в иные, более привлекательные сферы деятельности – в торговлю, в бизнес и т.д. Этому способствовало резкое недофинансирование высших учебных заведений, вызвавшее падение престижа преподавателей высшей школы. Рост финансирования, наблюдаемый в последние 10-15 лет, пока что не дал возможности полностью восполнить нанесенный ущерб, но, тем не менее, можно отметить, что ситуация начала выправляться.

Еще одной мировой тенденцией, судя по растущей публикательной активности в технических областях выходцев из Индии, Китая и других регионов Азии и Ближнего Востока, является формирование новых центров инженерно-технической и научной мысли мировых масштабов. Это можно рассматривать как результат описанных выше процессов, который вышел на принципиально новый качественный уровень, и игнорировать который уже никак нельзя.

Таким образом, в настоящее время РФ столкнулась сразу с двумя вызовами. Ближним (и чрезвычайно агрессивным) - со стороны западных стран, теряющих свое преимущество и ищущих возможность выйти из затяжного «пика» за чей-нибудь счет, и отдаленным – связанным ростом новых центров экономического и технологического влияния.

Для того, чтобы не оказаться в числе проигравших, нашей стране необходима выработка цельной концепции инженерно-технического образования как системы подготовки квалифицированных кадров, востребованных нашей промышленностью и способных дать толчок к новому витку развития.

Представляется, что сделать это возможно только на основе методологии концептуального проектирования и стратегического планирования [1]. В частности, в [2] было показано, что «...особой актуальностью обладает концептуальное проектирование систем в аспекте обеспечения их инновационного развития». То есть концептуальное проектирование способствует возникновению качественных переходов между системами (в том числе и системы инженерного образования), что приводит к изменению структурной организации самих этих систем.

Задача концептуального проектирования чрезвычайно сложна и требует системного подхода [3], изучения составляющих частей концепции и их долевого участия в достижении цели. Как отмечается в работах исследователей по данной проблематике, одним из базовых компонентов концепции инженерного образования является формирование стойкого интереса будущих молодых специалистов к избранию данной сферы деятельности. Это важно делать своевременно, так как креативность, творческие способности, фантазия, выражаемая в технических разработках, в наиболее существенной своей части формируется к 15 годам [3]. И далее приходится иметь дело с тем, что есть, и прилагать усилия, чтобы не утратить, а усовершенствовать и реализовать.

Здесь чрезвычайно важную роль играет популяризация инженерно-технических достижений и прикладной науки. Не случайно именно в данной области наблюдается интенсивный поиск нетрадиционных форм и нетривиальных решений. Это и современные технопарки, и выставки с возможностью непосредственного участия в творческом процессе, и конкурсы, и студийная деятельность, и активное развитие движения неформального общения единомышленников, где на регулярных клубных собраниях «спикеры» ведут живой диалог с аудиторией в режиме «Stand up», с ограничением времени обсуждения одной из тем в 5-10 минут, чтобы

активизировать мыслительный процесс и не дать возможности аудитории отвлечься и заскучать.

В данном направлении активно работает Студия молодежного технического творчества «Ingenium», созданная на базе Инженерного института КФУ, которая успешно осваивает новые форматы популяризации инженерно-технического творчества и возвращает перспективные кадры для отечественной промышленности, науки и педагогики.

Студия создана инициативной группой энтузиастов - студентов, аспирантов и преподавателей Инженерного института КФУ, увлеченных творческой работой в области технических инноваций и популяризации прикладных научных разработок.

Однако специфика избранного направления Студии потребовала не только активной интеллектуальной и публикатиной деятельности, но и привлечения значительных средств для создания материальной базы воплощения и апробации научно-технических задумок. В числе таких задумок могут быть как удачные, так и неудачные, что часто бывает при поиске новых решений. Однако даже в случае неудачи, реализация технической мысли является небесполезной, поскольку дает неоценимый практический опыт и ощущение возможности улучшения и оптимизации своих идей и разработок.

В 2015 г. проект Студии был поддержан грантом ПАО «Лукойл» и ОАО «РИТЭК». При этом решались три группы задач:

1. Задачи материально-технического обеспечения.
2. Организационные задачи
3. Творческие задачи.

Первая группа охватывала проблемы, связанные с приобретением современного оборудования и расходных средств для реализации самостоятельных творческих проектов участников Студии молодежного технического творчества «Ingenium».

Вторая группа – проблемы развития Студии организационно, поскольку численный состав участников за прошедший период существенно возрос, расширились как интересы, так и возможности Студии, но, имелись и проблемы, связанные с необходимостью освоения новой техники и получением навыков самостоятельной работы со сложным техническим оборудованием.

Третья группа задач – собственно, творческий поиск, связанный с популяризацией технических достижений Студии и привлечением к ее деятельности новых участников и партнеров, поскольку студийцами целенаправленно ведется работа по организации сетевой структуры, которая будет распространять и популяризировать наиболее удачный опыт и обучающие методики по организации подобных студий в Республике Татарстан.

Для решения организационных задач к работе в Студии «Ingenium» были привлечены опытные преподаватели и сотрудники Инженерного института КФУ, которые проводили обучение участников Студии, консультировали их при разработке проекта учебно-лабораторного комплекса и методически разъясняли последовательность, цели, задачи и методологию инженерно-

технических и проектных работ. В творческом плане реализация проекта Студии содействовала формированию у начинающих конструкторов и разработчиков закреплённого на практике созидательного технологичного мышления, нацеленности на результат, самостоятельности в принятии решений. А также новаторства, изобретательности, навыков не только единоличной самостоятельной работы, но и работы в качестве участника в творческом коллективе.

### Литература

1. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. - М.: Советское радио. 1975. 254 с.
2. Бутенко Д.В. Взаимосвязь стратегического планирования и концептуального проектирования. // XXX Юбилейная Международная конференция и дискуссионный научный клуб IT+SE'2003 Новые информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. - Ялта-Гурзуф. 2003 г. С. 107.
3. Кондраков И.М. Проблемы инженерного образования и вузовской науки: Инженер – человек изобретающий // Русское научно-техническое общество, 2016. [Электронный ресурс]. <http://rnto.club/biblioteka/kondrakov-i.m./Stati/problemi-inzhenerного-obrazovaniya.html> (Дата обращения 22.10.2016 г.).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Хуснутдинова Э.М., Коныхина И.А., Хамидуллина А.Ф.  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Аннотация.** Представлена методика сравнительного анализа положительных и отрицательных эффектов, возникающих при установке интенсифицированных винтообразно-профилированных трубчатых пучков в подогревателях нефти и нефтепродуктов, по отношению к базовым конструкциям. Особое внимание уделено учету влияния на рассматриваемые процессы сложного реологического поведения высокопарафинистых нефтей.

**Abstract.** This paper covers the analysis of positive and negative effects produced when enhanced helical hollow beams are installed into oil and oil product heaters if compared to the baseline designs. Special attention is given to the consideration of effect on the complex rheology of high-paraffin oils.

**Ключевые слова:** эффективность, интенсификация, теплообменник-подогреватель, конструкция, сложная реология, высокопарафинистая нефть

Универсальными критериями эффективности теплообменного оборудования, и подогревателей нефти в частности, являются технико-экономические показатели, отражающие реальные затраты, относимые на создание нового теплообменного оборудования и его эксплуатацию. Однако на практике обычно возникают затруднения с оценкой эффектов, положительных или отрицательных, при рассмотрении нескольких конкурирующих видов интенсифицированного оборудования. Для получения необходимых исходных данных требуются значительные материальные и энергетические затраты на создание теплообменника, его натурные испытания, сложные исследования по определению действительных эксплуатационных затрат и т.п. Поэтому на стадии принятия решений возникает потребность в методах, позволяющих адекватно отразить реальные показатели теплогидродинамических процессов, происходящих в теплообменных аппаратах, и выделить наиболее приемлемые варианты.

Используемые методы оценки эффективности теплообмена зависят от соотношения термических сопротивлений со стороны теплообменивающихся сред и, в зависимости от соотношения данных показателей могут быть разделены на односторонние и двусторонние. В тех случаях, когда интенсивность теплоотдачи в поверхностных теплообменных аппаратах со стороны одной из рабочих сред много меньше, чем с другой относятся к односторонним. Здесь сравнение целесообразно вести по стороне, характеризующейся меньшим коэффициентом теплоотдачи. К таким случаям относятся практически все теплообменники-подогреватели вязких сред, где лимитирующей является сторона вязкой рабочей жидкости, то есть, в рассматриваемом классе задач – сторона нефти или нефтепродуктов.

Для оценки влияния геометрических параметров интенсификатора на теплогидравлические показатели теплообменного аппарата и оценки его эффективности может использоваться метод, предложенный М.В. Кирпичевым [1]. Он основан на определении энергетического коэффициента  $E_0$ , показывающего соотношение двух видов энергии - удельного теплосъема  $Q = \alpha \Delta t$ , Вт/(м<sup>2</sup>), и удельных энергозатрат на преодоление гидравлического сопротивления  $N_0$ , производимых на единицу поверхности теплообмена в модифицированной конструкции тепловых элементов при равных условиях сравнения с базовой конструкцией и определяемых из соотношения, Вт/м<sup>2</sup>:

$$N_0 = \frac{G \Delta p}{(\rho F)}$$

где  $G$  — массовый расход рабочей среды, кг/с;  $\rho$  — плотность рабочей среды кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  - гидравлические потери на преодоление сил вязкого трения при движении рабочей среды, Па/м;  $F$  – площадь поверхности теплообмена,

приходящаяся на 1 м длины теплового элемента, м<sup>2</sup>.

Таким образом, безразмерный энергетический коэффициент может быть рассчитан по следующей формуле:

$$E_0 = \frac{\alpha \Delta t}{N_0}.$$

Здесь  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от поверхности теплообмена потоку рабочей среды, Вт/(м<sup>2</sup> К);  $\Delta t$  – изменение средней по сечению температуры потока на входе и выходе из рассматриваемого участка, К.

Данный метод позволяет оценить эффективность использования интенсифицированных поверхностей теплообменников-подогревателей нефти и нефтепродуктов как на стадиях проектирования оборудования, так и при проведении промышленных испытаний.

Однако для оценки влияния конкретных видов эксплуатационных затрат для всего диапазона рабочих характеристик теплообменника необходимо проводить расчет критериев А.А. Гухмана. Данные критерии позволяют оценить следующие эффекты:

- 1) экономию тепловой энергии (греющей воды или водяного пара), потребляемой на проведение теплового процесса;
- 2) снижение расхода электроэнергии, потребляемой на транспортировку рабочих сред через тепловые элементы;
- 3) снижение металлоемкости оборудования за счет уменьшения необходимой поверхности теплообмена.

Важным фактором объективности проводимой сравнительной оценки является достижение условий сопоставимости рассматриваемых вариантов. [1, 2, 3]. В этих целях используются три характеристики поверхности теплообмена: тепловой поток  $Q$ , кВт; мощность, необходимая для прокачки теплоносителя  $N$ , кВт; площадь поверхности теплообмена  $F$ , м<sup>2</sup>. Для достижения условий сопоставимости теплогидравлических процессов, протекающих в интенсифицированных теплообменных поверхностях различной конфигурации, вводятся три безразмерных критерия эффективности:

- 1) по тепловому потоку  $K_q$ ;
- 2) по энергии, затрачиваемой на прокачивание теплоносителя  $K_n$ ;
- 3) по площади теплообмена  $K_f$ .

В общем виде вышеприведенные критерии описываются соотношениями:

$$K_q = \frac{\alpha_u F_u \Delta t_u}{\alpha_0 F_0 \Delta t_0};$$

$$K_n = \frac{G_u \Delta p_u \rho_u}{G_0 \Delta p_0 \rho_u};$$

$$K_f = \frac{F_u}{F_0},$$

где индексы «0» и «и» указывают на тип теплообменной поверхности, которой соответствует данный параметр, — базовая или интенсифицированная;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, кВт/(м<sup>2</sup> К);  $\Delta t$  — разность средних по сечению канала температур на входе и выходе из рассматриваемого участка теплового элемента длиной 1 м, К;  $\Delta p$  — гидравлические потери на этом же участке, Па;  $F$  — площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>, приходящаяся на 1 м длины канала;  $G$  — массовый расход теплоносителя, кг/с;  $\rho$  — плотность рабочей среды, кг/м<sup>3</sup>.

В связи с тем, что преимущества интенсификатора могут наблюдаться не на всем диапазоне рабочих характеристик подогревателя нефти или нефтепродуктов, расчет ведется для всего диапазона, а для визуализации результатов строятся графические зависимости, или приводятся к виду аналитических или критериальных соотношений:

$$K_q = f(Re);$$

$$K_n = f(Re);$$

$$K_f = f(Re).$$

При использовании интенсификаторов винтового типа интенсивность теплоотдачи и гидравлических потерь, имеющих место в области ламинарного течения в интенсифицированном канале, соответствует интенсивности теплообмена и гидравлическим потерям области турбулентного течения в гладкотрубном канале. Поэтому при проведении анализа следует учитывать все характерные точки изменения режима течения и организовывать выбор соответствующего аналитического или критериального уравнения. При проведении анализа с помощью графиков таких проблем обычно не возникает, но графики невозможно использовать при автоматизированном машинном расчете. Поэтому так или иначе, их приходится переводить в вид критериальных или аналитических уравнений.

В качестве модельной жидкости для реализации описанных задач рассматривается среднепарафинистая нефть Южно-Хыльчуйского месторождения с массовой долей твердых парафинов 4,61%. Реологические свойства жидкости описаны в [4].

В качестве интенсифицирующих закручивателей потока рассматриваются: вставка из скрученной ленты и пристенные винтообразно-профилированные выступы округлой формы. Параметры закручивателей потока:  $S/D = 2 \div 10$ ;  $d/D = 0,6 \div 0,95$  ( $D$  — внутренний диаметр трубы нефтепровода,  $d$  — приведенный диаметр проходного сечения трубопровода с закручивателем,  $S$  — шаг винтовой



крутки) [4]. Базовая модель, по сравнению с которой определяются режимы интенсификации – гладкотрубная.

Основным эффектом, влияющим на теплогидравлические характеристики интенсифицируемых каналов, является снижение гидравлического сопротивления каналов (внутреннее течение) и затрачиваемой мощности на транспортировку рабочей среды в связи ее псевдопластичными реологическими свойствами. За счет локализованного сдвигового воздействия на поток данный эффект оценивается на уровне 10-15%.

### Литература

1. Назмеев Ю.Г. Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. / Ю.Г. Назмеев, И.А. Коначина. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 364 с.

2. Konakhina I.A. Enhancement of Hydrodynamic Processes in Oil Pipelines Considering Rheologically Complex High-Viscosity Oils. I.A. Konakhina, E.M. Khusnutdinova, G.R. Khamidullina and A.F. Khamidullina IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.134, Is.1. - Art. № 012019.

3. Назмеев Ю.Г. Интенсификация теплообмена при течении вязкой жидкости в трубах с винтовой накаткой. / Ю.Г. Назмеев, И.А. Коначина – Теплоэнергетика, 1993. – 59-62с.

4. Назмеев Ю.Г. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков реологически сложных жидкостей. / Ю.Г. Назмеев. - М. :Энергоатомиздат, 1996. – 304.

УДК 676.1

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ (РАЗВОЛОКНЕНИЕ, АГРЕГИРОВАНИЕ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ)

*Юсупов Фархад Тимурович\*\**, *Саетишин Айдар Айратович\**,  
*Борбузанов Виталий Геннадиевич\*\**, *Матухин Евгений Леонидович\*\**,  
*Валишина Зимфира Талгатовна\**, *Косточко Анатолий Владимирович\**

*\*Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений. Казанский национальный исследовательский технологический университет. г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Россия ул. Карла Маркса, 68.*

*E-mail: aidar.saetschin@yandex.ru*

*\*\*ФКП «Казанский государственный казенный пороховой завод», тел. (843)-554-34-20, т/ф (843)-554-40-14*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема совершенствования технологии и оборудования модификации целлюлозных материалов путем

разволокнения, агрегирования и кондиционирования в производстве нитратов целлюлозы.

**Ключевые слова:** *целлюлоза, разволокнение, агрегирование, кондиционирование.*

На сегодняшний день актуальной работой является создание технологии производства нитратов целлюлозы на основе современных универсальных компактных технологических комплексов, а также установление корреляционной зависимости структуры и свойств целлюлозного материала от размеров частиц, которая может обеспечить решение основной принципиальной задачи- улучшение показателей качества и получение материалов с новыми технически ценными эксплуатационными свойствами.

Эффективность технологии производства нитратов целлюлозы на основе современных универсальных компактных технологических комплексов определяется возможностью расширения номенклатурного ряда производимой продукции и переработкой различного вида сырья (хлопковой целлюлозы ХЦ, древесной и льняной целлюлозы) плотных форм или в виде «кипы».

В настоящее время предприятия-изготовители используют хлопковую целлюлозу ХЦ по ГОСТ 595, импортируемую с заводов Казахстана (г. Чимкент) и Узбекистана (г. Фергана).

Целесообразно решить проблему изготовления НЦ (коллоксилинов и лакокрасочных материалов) на их основе частичной заменой сырья на древесную целлюлозу. Однако для этого необходим ряд мероприятий, связанных с восстановлением хотя бы на одном из целлюлозно-бумажных комбинатов действовавших ранее производственных марок целлюлозы ЦА, РБ [1].

Оборудование для изготовления хлопковой целлюлозы в г.г. Н. Новгород, Кемерово, Бийске в настоящее время частично перепрофилировано на производство другого вида продукции или практически простаивает из-за отсутствия линта первого, второго сортов.

Резка листов папки на элементы площадью  $10 \div 25 \text{ мм}^2$ , по аналогии с подготовкой к нитрации целлюлозы РБ, из-за высокой плотности материала папки, не обеспечивает достаточный диффузионный обмен между внутренними слоями элементов и объемом нитросмеси. Это в конечном итоге приведет к получению коллоксилинов с пониженным содержанием азота, неоднородных по степени этерификации. Таким образом, получение высококачественных нитратов целлюлоз (НЦ) из элементов, получаемых резкой целлюлозной папки с использованием стандартных нитросмесей является проблемной задачей.

Для решения этой проблемы, на ФКП «КГКПЗ» было решено использовать новый комплекс подготовки целлюлозного сырья на основе молотковой мельницы.

Молотковые мельницы используются для разволокнения рулонной, листовой древесной и хлопковой целлюлозы. В зависимости от размера ячейки сита изменяется размер волокна целлюлозы. Качество разволокнения

целлюлозы напрямую влияет на качество дальнейшего процесса нитрации и на качество конечной нитроцеллюлозы.

Технологический комплекс разволокнения целлюлозного сырья (рисунок 1) состоит из:

- 1 Откаточного устройства (1) для закрепления целлюлозы в виде рулонов;
- 2 Втяжного устройства (2) для подачи целлюлозы в виде рулонов или «папки» на молотковую мельницу;
- 3 Молотковой мельницы (3), где происходит разволокнение поступающего плотного материала и рыхление;
- 4 Вентилятора (4), с помощью которого волокна разрыхленной целлюлозы по пневмопроводу подается на следующую стадию.

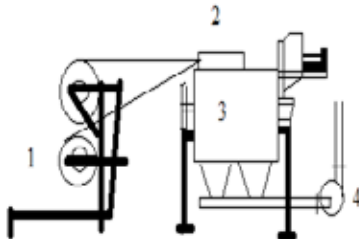


Рисунок 1 – Схема технологического комплекса разволокнения целлюлозного сырья

Внедрение производственного комплекса позволило перерабатывать хлопковую и древесную целлюлозу уплотненной физической формы при производстве лаковых коллоксилинов.

Разработанный комплекс разволокнения хлопковой и древесной целлюлозы уплотненной физической формы может применяться при переработке целлюлозного сырья для изготовления нитратов целлюлозы и других эфиров целлюлозы (метилцеллюлоза, этилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза) и целлюлозы порошкообразных форм.

Главными факторами, влияющими на свойства и структурные особенности получаемой продукции являются тип целлюлозы (хлопковая, древесная, льняная, пеньковая), способ деструкции (гидролитический, радиационный, механо- химический), режимы обработки, способы сушки целлюлозы и ее последующего модифицирования, включая агрегирование и кондиционирование разволокненной целлюлозной массы.[1-3].

Сушка целлюлозы, в существующем процессе, осуществляется во время перемещения целлюлозы по пневмопроводу, что недостаточно в холодное время года.

Для решения указанной проблемы предлагается осуществлять кондиционирование целлюлозы в роторной сушилке.

Сушилка роторная предназначена для кондиционирования разволокнённой целлюлозы с 5-10% до 1,5-2% остаточной влажности путём

перемещения продукта внутри цилиндрического корпуса шнеком и обдува его горячим воздухом.

Воздух подогревается калориферами и подается в сушилку посредством вентилятора в I и II зоны кондиционирования. Посредством шиберных заслонок можно регулировать количество подаваемого горячего воздуха по зонам и соответственно температуру в них.

Перемещение целлюлозного материала в сушилке осуществляется за счёт вращения ротора-шнека внутри аппарата. Скорость перемещения целлюлозы в сушилке (время пребывания в сушилке - время сушки) можно регулировать числом оборотов ротора и углом наклона корпуса самой сушилки.

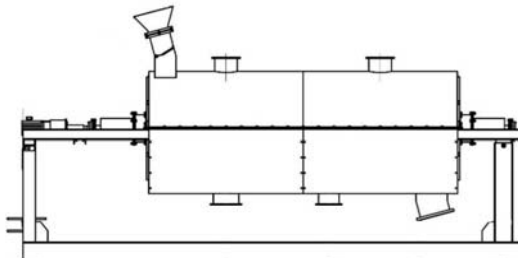


Рисунок 2 – Роторный аппарат для кондиционирования целлюлозы

#### Выводы

1. Разработанный новый комплекс разволокнения хлопковой и древесной целлюлозы уплотненной физической формы может применяться при переработке целлюлозного сырья для изготовления других эфиров целлюлозы (метилцеллюлоза, этилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза) и целлюлозы порошкообразных форм.

2. Рассмотрены особенности процессов агрегирования и кондиционирования разволокненной целлюлозной массы.

3. Модификация целлюлозы из различного вида сырья (хлопковая и древесная целлюлоза) и получение продуктов их переработки являются перспективными направлениями исследований, поскольку целлюлоза является неисчерпаемым, возобновляемым и экологически чистым материалом.

#### Литература

1. Валишина З.Т., Гарифзанов. Г.Г., Матухин Е.Л. Всесоюз. конф. Экологические проблемы фармакологии и токсикологии Тез докл. Казань, 1990. с.17.

2. Петропавловский, Г.А., Котельникова Н.Е., Погодина Т.Е.// Химия древесины, 6, 78-82 (1983).

3. Валишина. З.Т., Косточко. А.В., Матухин Е.Л. [и др] //Вестник Казанского технологического университета, 2013.-Т.16.-№ 20.-С.62-64.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция № 1 «Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении»</b> .....	<b>3</b>
<b>Агалаков Ю.В., Тонконог В.Г., Тукмаков А.Л., Ахунов А.А., Чибирев П.А.</b> Сепарирование мелкодисперсных газожидкостных сред.....	4
<b>Асташенко В.И., Западнава Н.Н., Мухаметзянова Г.Ф., Шафигуллин Л.Н.</b> Ключевые положения по созданию высококачественных деталей машин .....	7
<b>Асташенко В.И., Швейв А.И., Мухаметзянова Г.Ф., Швейв И.А., Мухаметзянов И.Р.</b> Диагностика состояния наплавленного слоя на биметаллических изделиях .....	11
<b>Ахмадиев Г.М.</b> Научные основы и принципы получения углерод-металлического материала каталитическим пиролизом этанола .....	15
<b>Ахметов И.Д., Закирова А.Р., Садыков З.Б., Хафизов И.И.</b> Новый электрод-инструмент для комбинированной резки токопроводящих материалов.....	19
<b>Байгалиев Б.Е., Черноглазова А.В.</b> Использование полимеров при изготовлении конденсатора холодильника .....	23
<b>Барыльникова Е.П., Кулаков А.Т., Кулаков О.А.</b> Адаптивная система подачи смазочного материала в двигатель внутреннего сгорания .....	27
<b>Беляев А.В., Галимов Э.Р.</b> Применение метода параметризации структур в сварке .....	31
<b>Габдрахманов А.Т., Галиакбаров А.Т., Исрафилов И.Х., Габдрахманов А.Т.</b> Исследование комбинированного лазерно-плазменного воздействия на материалы .....	35
<b>Гавариева К.Н., Симонова Л.А., Панкратов Д.Л., Гавариев Р.В.</b> Разработка экспертной системы для моделирования технологического процесса литья под давлением на основе искусственного интеллекта .....	38
<b>Галимов Э.Р., Пряхин Ю.А., Тукбаев Э.Е., Фазлыев Л.Р.</b> Формирование индикатрисы рассеяния световозвращающих покрытий с микросферами .....	43
<b>Головко А.Н., Юрасов С.Ю.</b> Определение осевого хода винтовой режущей кромки инструмента червячного типа для чистовой обработки зубьев зубчатых колес .....	47
<b>Грищенко Т.А., Слободчикова Ю.С., Убоженко С.С.</b> Анализ методов резки при обработке панелей из ПКМ .....	50
<b>Дегтярева А.Г., Симонов В.Н.</b> Особенности поведения стали 35 в процессе нагрева после деформирующего резания .....	54
<b>Долгова А.Н., Казанков А.А., Аминов Б.А., Шайхутдинов И.З., Гайнуллин И.И., Зиятдинов Р.В.</b> Повышение эффективности работы теплообменных аппаратов ТЭК.....	58
<b>Егорова В.Е., Хабибова Р.Р.</b> Исследование звукопоглощающих свойств стеклонаполненного пенополиуретана, применяемого в машиностроении .....	62
<b>Западнава Е.А., Швеева Т.В., Западнава Н.Н., Мухаметзянова Г.Ф., Халиков И.Н.</b> Технологические решения эффективного применения микрелегированных сталей.....	65

<b>Звездин В.В., Саубанов Р.Р., Рахимов Р.Р., Спириин А.А.</b> Управление процессом лазерной сварки на основе анализа информативных сигналов.....	68
<b>Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М., Исрафилов И.Х., Рахимов Р.Р.</b> Способ управления положением фокуса лазерного излучения при наплавке зубьев долбяков..	72
<b>Ибатуллин В.И., Максимов В.К.</b> Учёт влияния интегрального коэффициента излучения рабочей среды на выбор материала для активных зон теплоэнергетического оборудования .....	76
<b>Исрафилов Д.И.</b> Исследования процесса обработки в тлеющем разряде низкого давления поверхности инструментальных сталей .....	80
<b>Кесель Б.А.</b> Структурное проектирование модели мобильной газотурбинной установки для перекачки газа из ремонтных участков магистральных газопроводов .....	84
<b>Кесель Б.А.</b> Направления модернизации и оптимизации состава систем очистки и подготовки циклового воздуха для ГТД наземного применения при капитальном ремонте газоперекачивающих агрегатов ГПА-Ц-16.....	88
<b>Ключников О.Р., Ключников И.О., Астраханов М.В.</b> ИК-отражающая способность тонких резиновых покрытий .....	92
<b>Кондрашов А.Г., Давлетшина Г.К., Заиров Б.Ф., Заиров Л.Ф.</b> Обработка стружечных канавок угловых фрез .....	95
<b>Куртаева Ф.Н., Круглов Е.П., Полякова К.С.</b> Разработка ремонтно-восстановительной технологии деталей газотурбинного двигателя в рамках задач ресурсосбережения .....	99
<b>Маслов А.А.</b> Применение технологий холодного газодинамического напыления металлов при ремонте и восстановлении изношенных и поврежденных элементов конструкции гидравлических прессов .....	102
<b>Морушкин А.Е., Колесников Д.Н., Галиуллин Р.Р.</b> Исследование микроструктуры сварного соединения разнородных металлов ....	105
<b>Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.</b> Влияние технологической наследственности металла на разрушение сателлита планетарного редуктора ...	109
<b>Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.</b> Исследование растрескивания дисков КВД ГТУ «MAN» для обоснования материала и импортозамещающих технологий.....	113
<b>Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.</b> Влияние длительного перегрева на структуру и свойства перлитной стали .....	117
<b>Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.</b> Анализ причин разрушения массивного янки-цилиндра из серого чугуна .....	121
<b>Мухаметзянова Г.Ф., Колесников М.С., Мухаметзянов И.Р., Астащенко В.И.</b> Исследование процессов износа металлопроводов горячекамерных машин литья под давлением и способы повышения их стойкости.....	126
<b>Мухаметзянова Г.Ф., Карих Ф.Г., Мухаметзянов И.Р.</b> Повышение точности спектрального анализа газовых потоков в технологии машиностроения .....	130
<b>Низамиев А.Ю., Саетшин А.А., Юсупов Ф.Т., Борбузанов В.Г, Матухин Е.Л., Косточко А.В.</b> Оптимизация производства на основе математического и компьютерного моделирования технологических процессов .....	134
<b>Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Хабабуддинов Д.А., Ялалов И.Ф., Сайфиева А.Р., Гиниятова Л.М.</b> Новые природные материалы для сорбции органических растворителей .....	137

<b>Павлов П.П., Гараева А.Р., Корольков А.Ю., Соловьёва С.И., Хуснутдинов А.Н.</b> Оценка технического состояния электротехнического оборудования.....	140
<b>Панкратов Д.Л., Низамов Р.С., Харисов И.Ж.</b> Совершенствование технологии высадки трубной заготовки с целью исключения образования дефекта зажим на примере поковки кожух полуоси .....	142
<b>Попов К.С., Никишин В.Н.</b> Усовершенствование схемы топливopодачи двигателя автомобиля .....	147
<b>Рябов Е.А., Юрасов С.Ю., Хисамутдинов Р.М.</b> Обработка внутреннего контура трохoidalным фрезерованием концевыми фрезами .....	150
<b>Саегиши А.А., Низамиев А.Ю., Юсупов Ф.Т., Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л., Валишина З.Т., Косточко А.В.</b> Технологии и оборудования измельчения целлюлозосодержащих материалов .....	154
<b>Смоленцев Е.В., Бобров Е.С., Кондратьев М.В., Чернышева В.В.</b> Технология ремонта зубчатых колес электроэрозийнохимическим методом.....	159
<b>Соловьёва Е.В.</b> Особенности инфильтрации латуни пористых легированных заготовок на основе железа .....	162
<b>Соловьёва Е.В.</b> Эффект локального повышения температуры при инфильтрации псевдосплавов на основе железа .....	165
<b>Сударев Ю.И., Лоцакова Э.У., Мамаков В.Ю., Хамраев Б.Б.</b> Теплоизоляционные материалы на основе полисиликатов и алюмосиликатов с использованием базальтовых волокон .....	168
<b>Тарасов А.П., Кумченко И.И., Матвеев А.В.</b> Предложения студенческого конструкторско-технологического бюро (далее СКТБ) по доработке вертолётa МИ-34 .....	171
<b>Тахавиев М.С., Галимова Н.Я., Адыева Н.А., Тукбаев Э.Е.</b> Технология нанесения покрытий комбинированной термообработкой полимерных порошковых композиций .....	176
<b>Тахавиев М.С., Галимова Н.Я., Адыева Н.А., Федяев В.Л.</b> Особенности способов нанесения полимерных порошковых покрытий .....	182
<b>Урманов М.Д.</b> Повышение эффективности работы в среде NX CAM с использованием режущих инструментов и режимов резания согласно рекомендациям SANDVIK KOROMANT .....	185
<b>Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В.</b> Ионообменная мембрана с поверхностным слоем из полианилина для доочистки гальванических сточных вод.....	188
<b>Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Гимранов И.Р., Марат М.М.</b> Формирование полимерных порошковых покрытий.....	192
<b>Хабибова Р.Р., Егорова В.Е., Файзуллина Р.Ф.</b> Влияние «холодной» плазмы на физико-механические свойства композита на основе па волокон.....	199
<b>Хайрутдинова А.И., Хафизов И.И., Шафигуллин Л.Н.</b> Исследование свойств сэндвич-панелей на основе стеклопластиков детали защитного экрана капота мотоотсека.....	201
<b>Хафизов А.А., Шакиров Ю.И., Валиев Р.И.</b> Нанесение покрытий ферромагнитным порошком с помощью электротермической плазменной установки.....	205

<b>Черноглазова А.В., Байгалиев Б.Е.</b> Возможность применения полимерных материалов для труб теплоснабжения .....	210
<b>Черноглазова А.В., Байгалиев Б.Е.</b> Технология изготовления пористых композиционных материалов .....	214
<b>Чубуков А.И., Муратаев Ф.И.</b> Закономерности структуры и свойств высокопрочных сталей .....	218
<b>Шарафутдинов Р.Ф., Снигерев Б.А., Галимов Э.Р.</b> Реология дисперсно-наполненных полимерных систем .....	222
<b>Шафигуллин Л.Н., Астащенко В.И., Романова Н.В. Ибрагимов А.Р., Шафигуллина Г.Р., Шафигуллина А.Н.</b> Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств стеклонанополненных полиуретановых материалов, применяемых в машиностроении .....	226
<b>Швеёв И.А., Швеёв А.И., Швеёва Е.И., Швеёва Т.В.</b> Восстановительно-упрочняющая обработка биметаллических и цементованных деталей, как один из способов повышения конкурентоспособности продукции предприятий машиностроения .....	229
<b>Швеёва Т.В., Астащенко В.И., Швеёв А.И., Запандова Н.Н., Новиков Е.Е.</b> Пути повышения эксплуатационной стойкости деталей автомобиля .....	235
<b>Шибakov В.Г., Панкратов Д.Л., Андреев А.П., Утяганов Р.Ф.</b> Обеспечение однородности структуры металлов и сплавов при многократном выдавливании .....	238
<b>Секция № 2 «Инновационные разработки и экономика в машиностроении» .....</b>	<b>243</b>
<b>Азимов Ю.И., Гильманшин И.Р.</b> Моделирование технологических процессов теплообеспечения, как инструмент оценки состояния объектов имущественного фонда и инженерных сетей предприятий .....	244
<b>Андрянов Д. Ю.</b> Беспилотная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести .....	248
<b>Андрянов С.М., Хабибуллин Р.Г., Куликов А.С.</b> Разработка маслоотделителя системы вентиляции картера дизельных двигателей .....	251
<b>Ахметова Р.В., Таймаров М.А., Ахметов Э.А.</b> Способы повышения эффективности сжигания топлива в энергетических котлах .....	255
<b>Ахметов Э.А., Исламова А.М.</b> Определение экономически эффективного способа очистки сточных вод промышленных предприятий .....	261
<b>Ахметов Э.А., Ротач Р.Р.</b> Сравнение энергетических затрат при различных способах обессоливания воды для технологических нужд предприятий .....	265
<b>Бадыкова Г.И., Гиниятов Н.Х., Борбузанов В.Г., Колясов А.А., Матухин Е.Л., Косточко А.В.</b> Тренд инновационного развития производственно-технологического потенциала предприятия .....	269
<b>Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф.</b> Модернизированная система подачи смазочно-охлаждающих технологических средств металлорежущих станков .....	276



<b>Бобрышев А.А., Тахавиев Р.Х., Лахно А.В.</b> Элементы управления качеством в бережливом производстве материалов и изделий .....	278
<b>Борбузанов В.Г., Ахмадуллин Н.Х., Гиниятов Н.Х., Бадыкова Г.И., Самитов М.И., Туюшева А.И., Матухин Е.Л.</b> Инновации и модернизация современного производственно-технологического комплекса ФКП «КГКПЗ» .....	283
<b>Гапоненко С.О.</b> Установка для калибровки прибора низкочастотного виброакустического контроля.....	288
<b>Гильманшин И.Р., Кирпичников А.П.</b> Исследование показателей надежности систем анализа информации на основе модели поглощающей цепи Маркова .....	292
<b>Гильманшин И.Р., Кашапов Н.Ф., Гильманшина С.И., Галеева А.И.</b> Методика инструментального исследования качественного состава свалочного газа в поверхностном слое полигонов ТБО.....	297
<b>Долгих А.С., Александрова Н.Ю., Попова И.С.</b> Автоматизация программы испытаний продукции в климатической камере КТК-800.....	303
<b>Дорощенко Г.А., Лефи А.А., Суднищиков Д.В.</b> Модернизация стенда отработки гидросистем вертолета КА-52 .....	306
<b>Касьянов С.В., Сафаров Д.Т., Сафарова Л.Р.</b> Концепция проектирования технологий жизненного цикла попутных продуктов и отходов в процессе подготовки производства нового автокомпонента.....	309
<b>Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р., Нигматзянов А.Р.</b> Получение альтернативного топлива из сахарного сорго в условиях Татарстана.....	313
<b>Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р., Газетдинов М.Х., Нафикова М.М., Нигматзянов А.Р.</b> Энергосберегающие технологии возделывания сахарного сорго.....	316
<b>Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р., Нигматзянов А.Р.</b> Сравнительная оценка различных машин для предпосевной обработки почвы под сорго.....	321
<b>Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р., Хуснутдинова Э.М.</b> Техно-экономический анализ внедрения интенсификаторов в узлы подогрева высокопарафинистых нефтей.....	326
<b>Кузнецов Б.Л., Кузнецова С.Б., Галиуллина Г.Ф.</b> Реинжиниринг производственных систем в машиностроении – ключевая задача модернизации экономики России .....	329
<b>Насыров И.Н., Насыров Р.И., Зиязетдинова Г.У.</b> Оценка потребности в программе нейросетевого прогнозирования надежности накопителей информации .....	333
<b>Пермяков Д.Н.</b> Повышение ресурса работы изнашиваемых деталей автомобиля .....	337
<b>Петров Е.В., Егоров А.Ю., Собенников А.Н.</b> Об особенностях определения водности соляного (морского) тумана при проведении испытаний в камере SST-20MS.....	340
<b>Пуряев А.С.</b> Альтернативная оценка эффективности инноваций в машиностроении .....	344

---

<b>Сафин Т.Р., Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р.</b> Системный анализ и принятие решений при синтезе гибридных котельных установок высокой производительности .....	349
<b>Сиразетдинов Р.Т., Самодуров А.В., Хуснутдинов А.Н.</b> Оценка надежности инновационного бизнеса на основе математического моделирования устойчивого развития предприятия .....	352
<b>Хамидуллина А.Ф., Кузьмина М.А., Хуснутдинова Э.М., Конахина И.А.</b> Инженерное образование: современные форматы и проблемы концептуального проектирования .....	356
<b>Хуснутдинова Э.М., Конахина И.А., Хамидуллина А.Ф.</b> Сравнительный анализ теплогидравлической эффективности интенсифицированных подогревателей вязких нефтей и нефтепродуктов .....	360
<b>Юсупов Ф.Т., Саетшин А.А., Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л., Валишина З.Т., Косточко А.В.</b> Совершенствование технологии и оборудования для модификации целлюлозных материалов (разволокнение, агрегирование, кондиционирование) .....	364

Материалы  
Международной научно-технической конференции  
«Инновационные машиностроительные технологии,  
оборудование и материалы – 2016»

Часть 1

Подписано в печать 25.11.2016.  
Формат 60×84/16  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Тираж 250 экз.

Отпечатано в ООО «Фолиант»  
г. Казань, ул. Профсоюзная, 17в



**АО «Казанский научно-исследовательский институт  
авиационных технологий»**

г. Казань, ул. Дементьева, д. 2В

тел.: (843) 571-31-79

571-31-49

факс: (843) 510-53-63

e-mail: oao@kniat.ru

web: www.kniat.pф

ISBN 978-5-905576-85-0



9 785905 157685 0 >

