



**МАТЕРИАЛЫ X МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

Новосибирск, 2012 г.

УДК 62

ББК 30

Т 38

**Т 38 «Технические науки — от теории к практике»:** материалы X международной заочной научно-практической конференции. (28 мая 2012 г.); [под ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — 166 с.

ISBN 978-5-4379-0073-4

Сборник трудов X международной заочной научно-практической конференции «Технические науки — от теории к практике» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных технических наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области прикладной науки и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития технических наук.

ISBN 978-5-4379-0073-4

ББК 30

Рецензенты:

- кандидат физико-математических наук, Зеленская Татьяна Евгеньевна, Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)
- кандидат технических наук, Полонский Яков Аркадьевич, эксперт высшей квалификации Единой Системы Оценки Соответствия (г. Волгоград)

## **Оглавление**

### **Секция 1. Инженерная графика, САПР, САД, САЕ 7**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА С ОСНОВАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ Редькин Владимир Федорович	7
---	---

### **Секция 2. Информатика, вычислительная техника и управление 14**

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЬЮ С N ПРИОРИТЕТАМИ ПРИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ПАМЯТИ ПОСЛЕ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ Аксенова Елена Алексеевна	14
---	----

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПУТЕМ ПОСТРОЕНИЯ ДИФFUЗНОЙ КАРТЫ Колтырин Артур Николаевич	19
---	----

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО ВИДЕОСЕРВЕРАМ ОНЛАЙН ТРАНСЛЯЦИИ С УСЛОВИЕМ МИНИМАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗРИТЕЛЕЙ Манакова Ирина Павловна Петров Кирилл Борисович	27
--	----

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КОНТУРНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ Стебулянин Михаил Михайлович Синицын Андрей Геннадьевич	37
--	----

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИТЕМЫ ГБУЗ ОКБ № 2 Ханыков Денис Леонидович Баранов Владимир Николаевич	50
--	----

### **Секция 3. Машиностроение и машиноведение 54**

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ Караваева Дарья Николаевна Пучков Вячеслав Павлович	54
---	----

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АППАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS-CFX Усманова Регина Равилевна Рекун Антон Павлович Абзалова Маргарита Рамилевна	66
<b>Секция 4. Энергетика и энергетические техника и технологии</b>	<b>71</b>
РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В РАБОЧЕЙ СТЕНКЕ ЩЕЛЕВОГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК Кибардин Антон Николаевич Лукин Сергей Владимирович	71
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЧАСТОТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСА Костин Владимир Николаевич Кравченко Илья Владимирович	80
ИННОВАЦИОННАЯ ЗЭ ТЕХНОЛОГИЯ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА Султанов Оразгельды Нурыевич	87
<b>Секция 5. Горная и строительная техника и технологии</b>	<b>95</b>
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОДАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОДАЧЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА БУРОВОГО СТАНКА Шигин Андрей Олегович Гилев Анатолий Владимирович Шигина Анна Александровна	95
<b>Секция 6. Строительство и архитектура</b>	<b>105</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ Пугин Константин Георгиевич Юшков Владимир Сергеевич	105

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННОГО ФИБРОБЕТОНА Сеськин Иван Ефимович Баранов Александр Сергеевич	110
ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ СВЯЗУЮЩИХ Соколова Светлана Владимировна	116
<b>Секция 7. Сельское и лесное хозяйство, агроинженерные системы</b>	<b>121</b>
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РС(Я) Друзьянова Варвара Петровна Петрова Софья Алексеевна	121
<b>Секция 8. Химическая техника и технология</b>	<b>132</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСМИЯ И СЕРЕБРА В ЦИКЛЕ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ОБЖИГОВЫХ ГАЗОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ Арешина Наталья Станиславовна Касиков Александр Георгиевич Дрогобужская Светлана Витальевна	132
ДЕСТРУКЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УЛЬТРАЗВУКОМ Фролов Владимир Валерьевич Мозговой Иван Васильевич	141
<b>Секция 9. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>146</b>
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКТОВ С ЗАДАННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ Чугунова Ольга Викторовна Позняковский Валерий Михайлович	146

**Секция 10. Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология** **152**

ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
С ОРГАНИЧЕСКИМИ ПЛЕНКАМИ **152**  
Алиева Хумар Сабир кызы  
Алиева Тамилла Мухтаровна  
Ибрагимова Эльмира Закир кызы  
Баширова Айгуль Мамедгасан кызы

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ САНИТАРНОЙ АВИАЦИИ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ЦЕНТРА МЕДИЦИНЫ КАТАСТРОФ  
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) ЗА 2005—2010 ГГ. **160**  
Рожина Евдокия Гавриловна  
Иванов Алексей Алексеевич

## СЕКЦИЯ 1.

### ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ

#### ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА С ОСНОВАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Редькин Владимир Федорович*

*доцент Сибирского федерального университета, г. Красноярск*

*E-mail: [vladimir.redkin@gmail.com](mailto:vladimir.redkin@gmail.com)*

#### ENGINEERING GRAPHICS WITH DESIGN BASICS

*Vladimir Redkin*

*Associate Professor of Siberian Federal University, Krasnoyarsk*

#### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам реформирования геометро-графической подготовки в высшем учебном заведении в свете нового стандарта ФГОС ВПО. Это не готовое решение, но попытка к нему приблизиться. Изложена структура рабочей программы дисциплины «Инженерная графика с основами проектирования» с краткими пояснениями отличительных особенностей.

#### ABSTRACT

The present article deals with the aspects of geometro-graphic university education in the light of the new standard FGOS VPO. This is not a final solution, but an attempt to get close to it. The structure of the working program for the course «Engineering graphics with design basics» is presented with a brief description of distinctive features.

**Ключевые слова:** образовательный стандарт; геометро-графическая подготовка; инженерная графика; информационные технологии; геометрическое моделирование; проектирование; конструирование; электронные документы; чертеж.

**Keywords:** educational standard; geometro-graphic education; engineering graphics; information technology; geometric modeling; design; engineering; electronic documents; drawing.

Актуальность реформирования геометро-графической подготовки в вузах очевидна. Этот вопрос обсуждается уже на протяжении нескольких лет, но до сих пор конкретного решения не найдено. Это подтвердила и состоявшаяся в феврале-марте 2011 года II-Международная интернет-конференция КГП-2011 «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях ФГОС ВПО». Большинство участников КГП — 2011 солидарны в том, что начальная геометро-графическая подготовка должна преподаваться как основы геометрического моделирования [1]. При этом делается акцент на преподавание геометрического моделирования на основе и с использованием современных САПР. Решение конференции КГП-2011 (пункт 8 итогового документа): «Рекомендовать научно-методическому совету по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике: разработать примерную программу ГП на основе ФГОС ВПО с учетом различных направлений подготовки и донести ее содержание до кафедр геометро-графических дисциплин технических вузов до начала нового учебного года» до сих пор не реализовано. Заканчивается учебный год, в котором студенты первого курса обучаются по новому стандарту ФГОС ВПО. Но вот по новому ли стандарту?

Создается впечатление, что Решения КГП-2011 не услышаны, не поняты, а может и не приняты. В отсутствии примерных программ, выстроенных в соответствии с решениями КГП-2011, кафедры формируют новые рабочие программы дисциплины «Инженерная графика» под ФГОС ВПО на основе старых представлений [2]. Геометрическое моделирование с применением САД (САПР), являющееся сегодня основой проектно-конструкторской деятельности, упорно ставят в конец рабочей программы после разделов «начертательная геометрия» и «инженерная графика» и называют по-разному с добавлением слов «...компьютерная графика...». Выстроить новый курс дисциплины в соответствии с решениями конференции, решаются не многие [3].

Несмотря на широкое применение САПР в проектировании и конструировании, активное использование современных информационных технологий в учебном процессе, «Начертательная геометрия», как раздел дисциплины «Инженерная графика с основами проектирования» преподается в традиционном виде.



Учитывая актуальность геометро-графической подготовки, предлагается обсудить вариант структуры дисциплины «Инженерная графика с основами проектирования». Дисциплина преподается в соответствии с рабочим учебным планом направления подготовки 051000.62 в первом и втором семестрах.

На наш взгляд дисциплина может быть представлена в виде трех модулей:

Модуль 1. Основы геометрического моделирования.

Тема 1-1. Основные понятия и принципы работы в САПР. Интерфейс КОМПАС 3D. Файл фрагмента и файл чертежа. Геометрические объекты на плоскости. Редактирование.

Тема 1-2. Метод проекций. Виды и свойства проекций. Проецирование точек, отрезков и плоскостей. Прямая и обратная задачи изображения объекта.

Тема 1-3. Построение плоских кривых и сопряжений. Размеры. Измерения на плоскости.

Тема 1-4. Файл модели. Основные понятия 3D моделирования. Дерево модели. Объекты модели.

Тема 1-5. Построение точек и кривых в трехмерном пространстве.

Тема 1-6. Построение поверхностей. Требования к эскизам. Редактирование поверхностей.

Тема 1-7. Построение тел. Требования к эскизам. Редактирование тел.

Тема 1-8. Массивы. Вспомогательные объекты. Элементы оформления.

Тема 1-9. Получение информации о модели и ее объектах. Измерения.

Модуль 2. Инженерная графика.

Тема 2-1. ЕСКД. Общие требования. Виды изделий. Виды конструкторских документов.

Тема 2-2. Файл чертежа. Виды. Оформление чертежей. Форматы. Масштабы. Линии.

Тема 2-3. Геометрические основы форм деталей. Построение моделей деталей сложной формы.

Тема 2-4. Правила выполнения изображений. Ассоциативные виды. Построение видов. Аксонометрические проекции. Надписи и обозначения на чертеже.

Тема 2-5. Изображение и обозначение конструктивных элементов деталей.

Тема 2-6. Изображение и обозначение резьбы. Основные параметры. Технологические элементы резьбы. Условное изображение резьбы на модели.

Тема 2-7. Соединения разъемные и неразъемные. Построение и редактирование сборочной единицы. Изображение и обозначение на чертежах.

Тема 2-8. Эскизные конструкторские документы. Правила выполнения и обращения.

Тема 2-9. Электронная модель детали. Чертеж детали. Изображение размеров.

Тема 2-10. Базирование. Основы ЕСДП. Шероховатость поверхностей.

Тема 2-11. Электронная модель сборочной единицы. Электронная структура изделия. Сборочный чертеж и спецификация.

Тема 2-12. Схемы. Эксплуатационные документы.

Модуль 3. Основы проектирования и конструирования.

Тема 3-1. Информационная поддержка изделия. Роль и место проектирования в жизненном цикле изделия.

Тема 3-2. Изучение предметной области. Выбор прототипа, анализ проблемной ситуации и постановка технической задачи.

Тема 3-3. Анализ прототипа, список недостатков и перечень требований к проектируемому объекту. Стадии проектирования.

Тема 3-4. Основы конструирования. Основы расчетов при проектировании и конструировании.

Особенности построения дисциплины продиктованы следующим. Так как ее изучение начинается с первого учебного семестра, когда большинство студентов не имеют навыков работы с САПР, вся работа строится с применением САПР КОМПАС. Программа легко осваивается студентами и позволяет успешно решать все рассматриваемые в курсе задачи изображения объектов на плоскости и разработки моделей деталей и сборочных единиц в 3D. Следует отметить удобство разработки КД в соответствии со стандартами ЕСКД, что в большинстве случаев является решающим при выборе программы КОМПАС.

На начальном этапе освоения модуля 1 решается задача освоения САПР КОМПАС (тема 1-1) как аппарата, необходимого для изображения объектов при изучении последующих тем. Уже при изучении метода проекций (тема 1-2) предполагается знание команд и принципов построения объектов, наличие навыков изображения в САПР точек, вспомогательных линий и отрезков.

Изображения создаются в САПР на основе 3D модели, но грамотное решение задачи невозможно без знания метода проекций. Эти знания необходимы при формировании в чертеже представления о форме изделия, на основе получаемых в САПР изображений видов, разрезов, сечений и т. п. Метод проекций востребован также при проектировании 3D пространства в режиме «электронного кульмана» и необходим для успешного чтения ранее разработанных чертежей.

Знания о плоских кривых и методах их построения, навыки построения сопряжений и размеров (тема 1—3), в сочетании с полученными ранее знаниями и навыками формирует необходимую базу для создания чертежей и схем в режиме «электронного кульмана». Эти знания необходимы также для успешного изучения методов построения эскизов, как основы для моделирования поверхностей и тел.

При изучении материала темы 1—4 делается акцент на особенностях файла модели, его интерфейсе, структуре панелей и других атрибутах, необходимых при создании 3D моделей. Рассматриваются основные понятия и принципы 3D моделирования, изучаются объекты модели. Все это составляет необходимую основу для построения и редактирования точек и кривых (тема 1—5), поверхностей (тема 1—6) и тел (тема 1—7) в трехмерном пространстве.

Модуль 1 завершается изучением команд построения массивов, зеркального отображения операций, правил создания и использования вспомогательных объектов (тема 1—8). Получение информации о модели и ее объектах, а также различные измерения, проводимые непосредственно на 3D модели являются важным элементом ее исследования (тема 1—9).

Несмотря на то, что КД в бумажной форме равноценны с соответствующими электронными документами (ДЭ), и до сих пор широко используются, их разработка с применением кульмана и «ручной» технологии становится нецелесообразной. На основе ДЭ, разработанного с применением САПР, при необходимости, всегда можно получить его твердую копию.

В связи с этим в модуле 2 «Инженерная графика», в отличие от традиционного курса инженерной графики, ориентированного на «ручную» технологию, решаются задачи обучения эффективному использованию САПР для разработки ЭД. Предполагается, что проектная деятельность, на всех ее этапах, ведется с использованием САПР и ее результатом является комплект ЭД. В модуле 2 делается акцент на новые стандарты, устанавливающие общие требования по

выполнению ЭД (тема 2—1). Это электронная модель детали (ЭМД), электронная модель сборочной единицы (ЭМСЕ), разрабатываемые на основе электронной геометрической модели (ЭГМ) детали или сборочной единицы соответственно, электронная структура изделия (ЭСИ). Это может быть чертеж детали, сборочный чертеж, спецификация или другие конструкторские документы, разработанные на основе ЭГМ непосредственно или путем преобразования электронной модели изделия (ЭМИ) или выполненные в 2D с использованием САПР, как «электронного кульмана».

Актуальной становится способность проектировать оптимальные модели деталей сложной формы, закладывать в процессе разработки моделей возможности их быстрого редактирования (тема 2—3). Это является необходимой базой успешного создания ЭМД, чертежа детали, нанесения размеров, надписей и технических требований, других элементов оформления (тема 2—9).

Не затрагивая некоторых важных вопросов, традиционно рассматриваемых в инженерной графике, нужно отметить необходимость изучения общих представлений о файле чертежа, формирования видов, в том числе и ассоциативно связанных с ЭГМ (темы 2—2 и 2—4). Необходимо изучение различных видов соединений и формирование сборочных единиц с применением САПР (тема 2—7), с оформлением, в дальнейшем на их основе, ЭМСЕ, ЭСИ, чертежа сборочного и спецификации (тема 2—11). При изучении эксплуатационных документов, следует обратить внимание на новые возможности создания учебно-технического плаката и электронного интерактивного технического руководства (ИЭТР), как средств обучения (тема 2—12).

В модуле 3 студенты знакомятся с понятием «жизненный цикл изделия» (ЖЦИ), связями между его процессами, вопросами информационной поддержки изделия, местом и ролью процесса проектирования и конструирования в ЖЦИ (тема 3—1). В рамках самостоятельной работы студенты выполняют проект по теме «Разработка изделия бытового назначения». Объект проектирования студенты выбирают самостоятельно, исходя из собственных предпочтений, но преподаватель должен оценить сложность проекта и возможность его разработки конкретным студентом.

На данном этапе обучения студенты еще не обладают достаточными знаниями в конкретной предметной области. Поэтому первой задачей становится изучение предметной области, связанной с объектом проектирования. При рассмотрении объектов делается акцент на изучении эволюции конструкции, для формирования

цельной картины развития объекта, выбора прототипа, анализа проблемной ситуации и постановки технической задачи (тема 3—2).

Поиск решения производится с целью устранения имеющихся недостатков прототипа при сохранении других важных параметров. Для решения поставленной задачи студенты выполняют анализ прототипа, составляют список его недостатков и формируют перечень требований к проектируемому объекту и техническое задание. В рамках технического предложения студенты разрабатывают, как минимум, три варианта изделия, формируют систему критериев, и на ее основе выбирают оптимальный вариант (тема 3—3). Нужно отметить, разрабатывая варианты изделия, не все студенты могут успешно изобразить на эскизе тот образ, который они создали в своем воображении, что составляет проблему. Это касается, как изображения внешнего вида изделия, так и представления его конструкции.

При разработке конструкции изделия, студенты самостоятельно решают вопросы рациональности конструкции, подбора материалов деталей, выбора технологических вариантов изготовления, использования стандартизованных элементов, нанесения декоративных покрытий. На основе разработанной модели студенты создают в САПР комплект КД (состав КД по указанию преподавателя) и презентационный вид изделия. Расчеты конструкции рассматриваются кратко, в ознакомительных целях с применением САПР SolidWorks (приложение Simulation) (тема 3—4).

### **Список литературы:**

1. КГП-2011. Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях ФГОС ВПО: Материалы II Междунар. науч.-практ. Интернет-конференции (Решение конференции). Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. Ун-та, 2010. URL: <http://dgng.pstu.ru/conf2011/news/21/>
2. Кравчук Л.Е. Инженерная графика. ВГУЭС, URL: [http://abc.vvsu.ru/Books/p\\_enggraph\\_vm/default.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/p_enggraph_vm/default.asp)
3. Маркин Л.В., курс «Методы геометрического моделирования и компьютерной графики» разработан Консорциумом «Геометрическое образование в новых информационных технологиях». URL: [www.cgg-journal.com](http://www.cgg-journal.com)

## СЕКЦИЯ 2.

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЬЮ С $N$ ПРИОРИТЕТАМИ ПРИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ПАМЯТИ ПОСЛЕ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ

*Аксенова Елена Алексеевна*

*канд. физ.-мат. наук, Институт прикладных математических  
исследований Карельского научного центра РАН,  
Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск  
E-mail: [aksenova@krc.karelia.ru](mailto:aksenova@krc.karelia.ru)*

#### OPTIMAL CONTROL QUEUE WITH $N$ PRIORITIES IN THE CASE OF MEMORY REDISTRIBUTION AFTER THE OVERFLOW

*Aksenova Elena Alekseevna*

*Ph.D., Institute of Applied Mathematical Research  
of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,  
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk*

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ  
(проект 12-01-00253-а).*

#### АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается очередь с  $N$  приоритетами, расположенная в памяти размера  $m$  единиц. Приоритетная очередь представлена в виде  $N$  FIFO-очередей. В таком способе реализации все поступающие элементы с одинаковым приоритетом помещаются в одну FIFO-очередь, поэтому память не тратится на хранение приоритетов. В данной работе решается задача оптимального перераспределения памяти между FIFO-очередями после переполнения одной из очередей. В качестве критерия оптимальности

рассматривается максимальное среднее время до следующего перераспределения памяти.

### ABSTRACT

This paper considers the queue with  $n$  priorities, located in the memory size of  $m$  units. Priority queue represented as  $n$  FIFO-queues. In such method all incoming elements with the same priority are placed in the same FIFO-queue, so it do not need memory for storage of element's priorities. In this paper the problem of optimal reallocation of memory between the FIFO queues after the overflow of one of the queues is solved. The optimality criterion is considered the maximum average time until the next reallocation.

**Ключевые слова:** структуры данных; приоритетная очередь; FIFO-очередь; случайные блуждания; цепи Маркова.

**Keywords:** data structure; priority queue; FIFO-queue; random walks; Markov chains.

### Введение

Во многих приложениях используется структура данных, в которой основными операциями являются вставка элемента и удаление элемента с наибольшим приоритетом. Такую структуру данных называют приоритетной очередью [3, 5, 6]. В работе рассматривается представление  $N$ -приоритетной очереди в виде  $N$  FIFO-очередей. Преимуществом данного способа представления является то, что не требуется хранить в памяти приоритеты, приоритет определяется номером FIFO-очереди. При реализации такого способа возникает проблема оптимального разбиения памяти между  $N$  FIFO-очередями. В [1, 7] предложены математические модели для такого способа представления приоритетной очереди, а также для представления приоритетной очереди в виде массива. В [2] предложена математическая модель для двухприоритетной очереди в случае перераспределения памяти. В данной работе предлагается математическая модель и алгоритм оптимального управления  $N$  — приоритетной очередью в случае перераспределения памяти после переполнения одной из FIFO-очередей.

### Математическая модель

Рассмотрим очередь с  $N$  приоритетами, расположенную в памяти размера  $m$  единиц. Такую приоритетную очередь представим в виде  $N$  FIFO-очередей. Первой FIFO-очереди присвоен приоритет 1, второй —

приоритет 2, и т. д.,  $N$ -й — приоритет  $N$ . Наивысший приоритет  $N$ . Известны вероятностные характеристики приоритетной очереди:

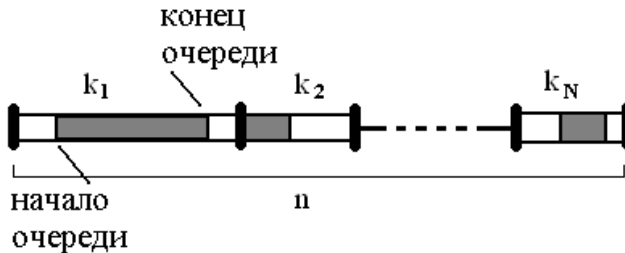
- $p_i$  — вероятность включения элемента с приоритетом  $i$ ,  $i=1, \dots, N$ ;

- $q$  — вероятность исключения элемента из очереди;

- $r$  — вероятность операции, не изменяющей длину очереди;

где  $p_1+p_2+\dots+p_N+q+r=1$ . При исключении элемента из пустой очереди работа не завершается. В очереди могут храниться элементы длины  $L$ . Предположим, что  $m$ ратно  $L$ . Тогда максимальное количество элементов в очереди обозначим  $n = m/L$ .

Рассматривается последовательный способ организации приоритетной очереди. В последовательном способе  $N$ -приоритетная очередь представлена в виде  $N$  последовательных FIFO-очереди. Пусть  $k_i$  — количество элементов, выделенных  $i$ -й FIFO-очереди,  $0 \leq k_i \leq n$ ,  $i=1, \dots, N$ ,  $k_1+k_2+\dots+k_N = n$  (Рис. 1). Необходимо определить, как перераспределить свободную память между FIFO-очередями после переполнения одной из очередей, чтобы среднее время до следующего перераспределения памяти было максимально.



**Рисунок 1. Последовательное представление**

Обозначим текущие длины FIFO-очереди  $x_i$ ,  $i=1, \dots, N$ . В качестве математической модели процесса работы с  $N$ -приоритетной очередью рассмотрим случайное блуждание в  $n$ -мерном пространстве  $0 \leq x_i < k_i+1$ ,  $i=1, \dots, N$ ,  $x_i=k_i+1$  — поглощающие гиперплоскости. Блуждание начинается в точке  $x_i = 0$ ,  $i=1, \dots, N$ . Предполагаем, что в начале работы с приоритетной очередью память делится оптимально, в качестве критерия оптимальности рассмотрено максимальное среднее время до переполнения. То есть значения  $k_i$ ,  $i=1, \dots, N$ , выбраны оптимально и среднее время блуждания до попадания на поглощающие границы максимально.



Переполнению  $j$ -й очереди соответствуют точки на гиперплоскости  $x_j = k_j + 1$ . При переполнении одной из FIFO-очереди происходит перераспределение свободной памяти между FIFO-очередями и работа продолжается. При попытке включения элемента в заполненную  $j$ -ю FIFO-очередь, когда  $x_j = k_j$ ,  $x_i \leq k_i$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j = 1, \dots, N$ , требуется определить новую область блуждания  $0 \leq x_i < k_i^* + 1$ ,  $i = 1, \dots, N$ , где  $k_i^* > k_i$ , если  $i = j$ . То есть необходимо найти такие значения  $k_i^*$ ,  $i = 1, \dots, N$ , чтобы среднее время до следующего переполнения одной из FIFO-очереди было максимальным.

### Решение задачи

Случайное блуждание по целочисленной решетке будем рассматривать как конечную однородную поглощающую цепь Маркова с матрицей вероятностей переходов  $P$ . Для решения задачи требуется матрица  $Q$  вероятностей переходов из невозвратных состояний в невозвратные ( $Q$  — подматрица матрицы  $P$ ). Вводится нумерация состояний Марковской цепи, это позволяет определить структуру матрицы  $Q$  для любого размера памяти  $m$ , длины элемента  $L$ , и любых значений  $k_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Среднее время вычисляется с помощью фундаментальной матрицы  $N = (E - Q)^{-1}$  [4], где  $N_{ij}$  — это среднее количество единиц времени, которое процесс находился в состоянии  $j$ , если начальным было  $i$ .

Вычисление критерия оптимальности в данной задаче является очень ресурсоемким за счет обращения матрицы  $(E - Q)$  большого размера.

### Алгоритм

1. Ввод вероятностных характеристик приоритетной очереди, размера памяти  $m$ , длины элемента  $L$ ;  $n = m/L$ ;

2. Для всех возможных значений  $k_i$ ,  $0 \leq k_i \leq n$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $k_1 + k_2 + \dots + k_N = n$  генерируем матрицу  $Q$ , вычисляем матрицу  $N$ , суммируем элементы матрицы  $N$  в строке, соответствующей состоянию  $x_i = 0$ ,  $i = 1, \dots, N$ ;

3. Выбираем такой набор  $k_i$ ,  $0 \leq k_i \leq n$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $k_1 + k_2 + \dots + k_N = n$ , которому соответствует максимальная сумма элементов в строке соответствующей матрицы  $N$ ;

4. Для каждого состояния, в котором  $j$ -я FIFO-очередь заполнила выделенную память, т. е.  $x_j = k_j$ ,  $x_i \leq k_i$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j = 1, \dots, N$ , перебираем все возможные значения  $x_i \leq k_i^* \leq n$ ,  $k_1^* + k_2^* + \dots + k_N^* = n$ , где  $k_i^* > k_i$ , если  $i = j$ . Для каждого набора  $k_i^*$ ,  $i = 1, \dots, N$ , генерируем новую матрицу  $Q$ , вычисляем матрицу  $N$ , суммируем элементы матрицы  $N$  в строке, соответствующей рассматриваемому состоянию ( $x_i = k_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ );

5. Выбираем такой набор  $k_i^*$ ,  $0 \leq k_i^* \leq n$ ,  $i=1, \dots, N$ , которому соответствует максимальная сумма элементов в строке соответствующей матрицы  $N$ . Для каждого состояния, соответствующего тому, что одна из FIFO-очереди заполнила выделенную память, получаем оптимальные значения  $k_i^*$ ,  $i=1, \dots, N$ .

Шаги 4—5 можно повторять до полного исчерпания свободной памяти (если перед каждым новым перераспределением текущие значения  $k_i^*$  обозначить  $k_{is}$ ,  $i=1, \dots, N$ ).

### Список литературы:

1. Аксенова Е.А., Соколов А.В. Анализ некоторых методов реализации приоритетной очереди // Стохастическая оптимизация в информатике. — 2008. Вып.4. — С. 61—71.
2. Аксенова Е.А., Соколов А.В. Анализ методов управления двухприоритетной очередью // Труды международной научной конференции «Моделирование и анализ информационных систем» (6—7 февраля 2012 г. ЯРГУ). — Ярославль, 2012. — С. 76—78.
3. Боллапрагада В., Мэрфи К., Уайт Р. Структура операционной системы Cisco IOS. — М.: Вильямс, 2002. — 208 с.
4. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. — М.: Наука, 1970. — 272 с.
5. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. — М.: Вильямс, 2001. — 720 с.
6. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. — К.: Диасофт, 2001. — 688 с.
7. Соколов А.В., Драц А.В. Оптимальное управление приоритетной очередью в памяти одного уровня // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. — 2011. № 5. — С. 103—110.

# **КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПУТЕМ ПОСТРОЕНИЯ ДИФFUЗНОЙ КАРТЫ**

*Колтырин Артур Николаевич*

*инженер отдела проектирования и мониторинга разработки южной  
группы месторождений, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»  
«ПермНИПИнефть» в городе Перми,  
E-mail: [artkoltyrin@mail.ru](mailto:artkoltyrin@mail.ru)*

## **HYPERSPECTRAL IMAGING DATA CLUSTERING BY CONSTRUCTING A DIFFUSION MAP**

*Arthur Koltyrin*

*engineer in the design and monitoring of the development of the southern  
group of fields, Branch of JSC "LUKOIL-Engineering", "PermNIPIneft" in  
the city of Perm*

### **АННОТАЦИЯ**

Одной из проблем обработки гиперспектральных изображений является выделение значимых данных. Эта задача решается путем классификации. Для решения задач классификации, предлагается построение отображения, при котором спектры различных поверхностей местности, связанные с различными материалами, разделятся явно. В рассматриваемом подходе мы опираемся на метод «диффузных карт». Основная идея в том, что многомерные данные проецируются в математическое многообразие малой размерности с сохранением взаимных отношений между данными. Описывается диффузный процесс, который выявляет скрытые закономерности, существующие между спектрами, разделяющие различные слои бэкграунда. Модель, основана на случайном блуждании по графу. Случайное блуждание разделяет всю область на отдельные кластеры, которые обусловлены скрытыми взаимосвязями между элементами множества. В результате применена техника случайных процессов в Марковских цепях для разделения кластеров.

### **ABSTRACT**

One of the problems of processing hyperspectral imaging is the identification of significant data. This problem is solved by means of

classification. In order to solve classification problems, it is proposed the construction of maps, in which the spectra of different surfaces areas associated with different materials, is clearly divided. In this approach, we rely on the method of "diffusion map". The basic idea is that the multidimensional data are projected into the mathematical variety of small dimension while preserving the mutual relations between the data. We describe a diffuse process that reveals hidden patterns that exist between the spectra of separating the different layers of the background. The model is based on a random walk on a graph. Random walk divides the region into separate clusters, which are caused by hidden relationships between elements of the set. As a result of applied techniques of random processes in Markov chains for the separation of clusters.

**Ключевые слова:** диффузная карта; кластеризация; гиперспектральное изображение

**Keywords:** diffusion map; clustering; hyperspectral imaging

Гиперспектральное изображение — это куб данных, который включает в себя пространственную информация (2D) об объекте, дополненную спектральной информацией (1D) по каждой пространственной координате. Иными словами, каждой точке изображения соответствует спектр, полученный в этой точке снимаемого объекта.

Одной из основных задач обработки гиперспектральных изображений является распознавание неопределенных зон местности как принадлежащих тому или иному известному классу.

Технология распознавания представлена основным набором алгоритмов: AdaBoost, SVM, Нейронные сети, Linear Discriminate Analysis. Проанализировав данные алгоритмы можно сделать вывод что, существующие методы распознавания неопределенных зон гиперспектрального изображения не являются столь эффективными. Поэтому решение задач распознавания неопределенных зон гиперспектральных изображений остаются актуальными.

В нашем случае, решение задач распознавания неопределенных зон гиперспектрального изображения предлагается построить такое отображение, при котором спектры различных поверхностей местности, связанные с различными материалами, разделятся явно.

В рассматриваемом подходе мы будем опираться на метод «диффузных карт» [3].

Этот метод впервые применялся для моделирования трехмерных объектов на базе множества представлений объекта двумерными проекциями (фотографиями). Суть метода заключается в том, что многомерные данные проецируются в математическое многообразие малой размерности с сохранением взаимных отношений между данными. При этом топология многообразия моделирует различие между проекциями. То есть, вариация данных описывается многообразием, выстраиваемым диффузной картой. В случае, когда многообразии трехмерно, оно является трехмерной моделью проекций.

В этой статье мы опишем диффузный процесс, который выявит скрытые закономерности, существующие между спектрами, разделяющие различные слои бакграунда.

Модель, которую мы предлагаем, основывается на случайном блуждании по графу.

Обозначим

$$I = \{I_{ij}\}_{j=1\dots r; i=1\dots m_j}$$

Множество объектов, представленных многомерными векторами. Первый индекс обозначает нумерацию объектов в классе, второй индекс нумерует сами классы.

Каждый объект является многомерным вектором размерности  $n$ .

$$I_{ij} \triangleq (p_{ij}^1 \dots p_{ij}^n) \in R^n. j = 1 \dots r; i = 1 \dots m_j$$

Построим граф

$$G = (V, E). \quad (1)$$

где множество вершин  $V$  соответствует объектам

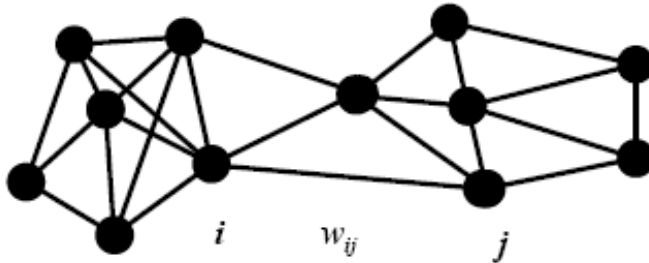
$$\{I_{ij}\}_{j=1\dots r; i=1\dots m_j}.$$

а множество ребер

$$E = \omega_\varepsilon(I_{i_1, j_1}, I_{i_2, j_2})$$

— мера локальной близости между векторами, индуцированной нормой  $L_2$ .

Данная картина может быть проиллюстрирована рисунком 1.



*Рисунок 1. граф (1)*

На рисунке 1 представлен граф (1). Вершины — объекты системы, ребра — наличие локальной близости между объектами в норме  $L_2$ .

Мы инициализируем случайное блуждание точки по графу (1). Блуждание по графу происходит в областях сгущения плотности, поскольку вероятности перехода из узла в узел в плотных участках больше, чем переход из одной точки сгущения в другую [5].

Такое блуждание выделяет кластеры, как области наиболее вероятного нахождения точки при случайном блуждании.

Таким образом, случайное блуждание разделяет всю область  $V$  на отдельные кластеры, которые обусловлены скрытыми взаимосвязями между элементами множества  $I$ .

Теперь мы дадим более формальное аксиоматическое определение весовых функций, связанных с ребрами графа (1). Функция  $\omega_\varepsilon$  определяется как такое отношение локальной близости между вершинами графа, обладающее следующими свойствами. Для всех  $x, y \in I$  весовая функция обладает следующими свойствами:

1. Симметричность.  $\omega_\varepsilon(x, y) = \omega_\varepsilon(y, x)$
2. Неотрицательность.  $\omega_\varepsilon(x, y) \geq 0$
3. Свойство разреженности. Пусть задано вещественное положительное число  $\varepsilon > 0$ . Тогда в случае  $\|x - y\| \gg \varepsilon$  мы имеем  $\omega_\varepsilon(x, y) \rightarrow 0$ , в противном случае, если  $\|x - y\| \ll \varepsilon$ , выполняется свойство  $\omega_\varepsilon(x, y) \rightarrow 1$ .

Параметр  $\varepsilon$  задает локальную структуру окрестности. Функция  $\omega_\varepsilon$  задает локальную геометрию подобия пары объектов внутри окрестности радиуса  $\varepsilon$ .

Как правило, в качестве функции  $\omega_\varepsilon$  выбирается «гауссовское ядро» [1].

$$\omega_\varepsilon(x, y) = \exp\left(-\frac{\|x-y\|^2}{2\varepsilon}\right) \quad (2)$$

Теперь опишем формально случайный процесс блужданий по графу (1).

Определим вес каждой вершины в графе

$$d(x) = \sum_{j=1}^m \omega_\varepsilon(x, y)$$

Нормализуем весовые функции  $\omega_\varepsilon$  как строки стохастической Марковской матрицы. Более формально, рассмотрим матрицу

$$P = \{P(x, y)\}_{i,j=1,\dots,m}$$

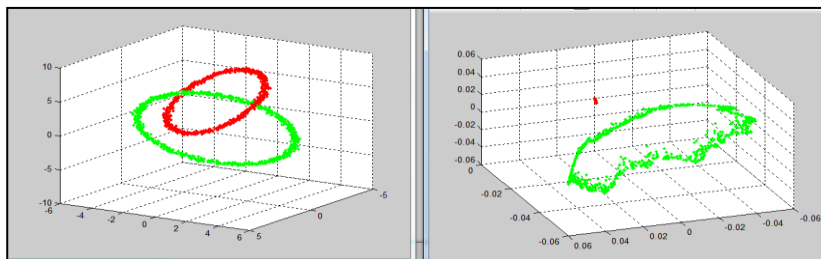
определенную как

$$P(x, y) = \frac{\omega_\varepsilon(x, y)}{d(x)}$$

Величина  $P(x, y)$  может быть интерпретирована, как вероятность перехода из точки  $x$  в точку  $Y$  за один шаг. Определим теперь вероятность перехода из  $X$  в  $Y$  за время  $t$   $p_t(x, y)$ . Матрица, составленная из элементов  $p_t(x, y)$ , задает разбиение графа на кластеры при стремлении параметра  $t$  к бесконечности [4].

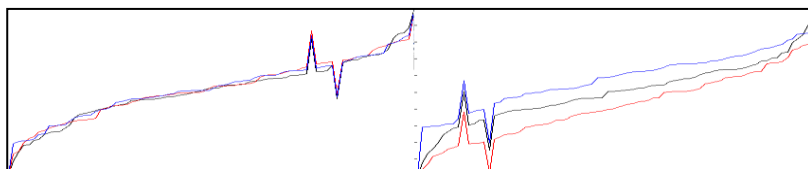
Действительно, если точка находилась в позиции  $x$ , то за большое число шагов с наибольшей вероятностью случайное блуждание приведет в те вершины, которые образуют один кластер с  $x$ . Таким образом, все точки  $y$ , для которых  $p_t(x, y)$  близко к 1, образуют один кластер с  $x$ . При этом точки  $Y$ , относящиеся к другому кластеру, будут отделены от  $x$  свойством близости к 0 функции  $p_t(x, y)$  [6].

Рисунок 2 иллюстрирует эффективность разделения перемешанных известных кластеров. Если сгенерировать данные как два сцепленных друг с другом кольца (обозначенных красным и зеленым цветом), то никакие известные линейные методы их явно разделить не смогут. Тем не менее случайное блуждание по графу, представленному этими кольцами, логически их способно разделить, поскольку при случайном блуждании вероятность оставаться внутри одного и того же кольца больше, чем вероятность перейти из одного кольца в другое.



**Рисунок 2. Демонстрация эффективности разделения классов при помощи диффузных карт.**

Например, для векторов, представленных на рисунке 3, очевидна структура принадлежности группы справа и слева к разным кластерам.



**Рисунок 3. Две группы спектров, представленные графиками**

Как было показано в [2], диффузное расстояние  $p_t(x, y)$  может быть вычислено по следующей формуле

$$p_t^2(x, y) = \sum \lambda_j^{2t} (\psi_j(x) - \psi_j(y))^2$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  — собственные числа матрицы  $P$ , такие что

$$|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq \dots \geq |\lambda_m|$$

а  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m$  — соответствующие им собственные векторы.

Отбросив теперь члены при собственных числах, близких к 0 и оставив первые  $w$  самых существенных слагаемых, приходим к тождеству

$$P_t(x, y) = \sum_{k=1}^w (\lambda_k^t (\psi_k(x) - \psi_k(y)))$$

Определим отображение



$$\psi_t(x) = (\lambda_1^t(\psi_1(x)) \dots \lambda_\omega^t(\psi_\omega(x)))$$

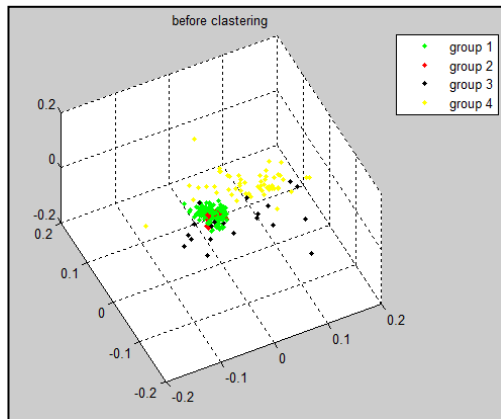
Нетрудно видеть, что оно обладает следующими свойствами:

Отображение происходит в пространство размерности  $w$ .

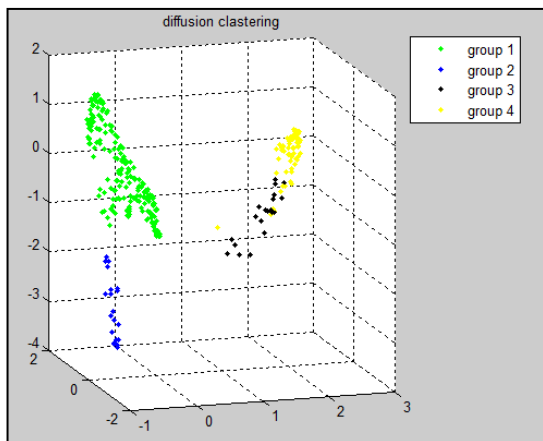
Отображение не является линейным.

Расстояние между образами точек равно диффузному расстоянию, то есть, вероятности попасть из точки  $x$  в точку  $y$  при случайном блуждании по графу (1) за время  $t$ .

В результате мы построили отображение, при котором спектры связанные с различными материалами, разделяются явно. Данное отображение будем называть «диффузной картой». Применена техника случайных процессов в Марковских цепях для разделения кластеров и выявления взаимосвязей между данными, а также представления кластеров в пространстве малой размерности. Результаты применения показаны на рисунках 4 и 5. Показано разделение кластеров после применения диффузных карт. На рисунках 4 и 5 одним цветом отмечены спектры для одного и того же участка бэкграунда. Видно, что в результате разнонаправленности и зашумленности спектров кластеры полностью перемешаны и классификация по ним невозможна. Техника предусматривает отображение спектров в виртуальное пространство отношений, и после понижения размерности, пространство спектров проецируется в трехмерное пространство, где образы спектров, относящихся к одному материалу, хорошо разделены.



**Рисунок 4. Визуализация трех случайно выбранных длин волн гиперспектрального изображения.**



**Рисунок 5. Визуализация спектров после применения диффузных карт.**

#### **Список литературы:**

1. Attias H.. Independent factor analysis. *Neural Computation*, 11(4):803—851, 1999.
2. Averbuch, M. Zheludev, Sensor analysis algorithms for target recognition, School of Computer Science, Tel Aviv University, Israel, 2009.
3. Coifman R., Stephane L. Diffusion maps, *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, Mathematics Department, Yale University, New Haven, CT 06520, USA
4. Chen C.H. and Zhang X.. Independent component analysis for remote sensing study. In *Proc. of the SPIE Symp. on Remote Sensing Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing V*, volume 3871, pages 150—158, 1999.
5. Generalov, M., Zheludev V., Simultaneous Decompositions of Projective Modules over Bounded Dedekind Prime Rings, *International Algebra Faddeev Memorial Conference, Abstracts*, 1997, 48.
6. Zheludev V., Tiling of Decomposable Groups by Translations of Finite Set, *Journal Murmansk Region Conference*, 1999.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО ВИДЕОСЕРВЕРАМ ОНЛАЙН ТРАНСЛЯЦИИ С УСЛОВИЕМ МИНИМАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗРИТЕЛЕЙ

**Манакова Ирина Павловна**

*преподаватель (стажёр), НТИ (ф) УрФУ, г. Нижний Тагил*

*E-mail: [manakova.ip@gmail.com](mailto:manakova.ip@gmail.com)*

**Петров Кирилл Борисович**

*студент, НТИ (ф) УрФУ, г. Нижний Тагил*

*E-mail: [kp-karasu@yandex.ru](mailto:kp-karasu@yandex.ru)*

## THE DISTRIBUTION OF USERS ON VIDEO SERVERS OF ONLINE TRANSLATION WITH THE MINIMUM DISPLACEMENT VIEWERS

**Irina Manakova**

*lecturer (probationer), NTI (b) UFU, Nizhny Tagil*

**Kirill Petrov**

*student, NTI (b) UFU, Nizhny Tagil*

### АННОТАЦИЯ

Проведение интернет-трансляций в реальном времени требует организации системы видеоточек, связанных между собой. При этом актуальной задачей становится распределение пользователей по видеоточкам, особенно в условиях повышенной нагрузки на систему. В работе приводится математическая постановка задачи распределения пользователей при повышенной нагрузке на систему вещания и её решение, определяется целевая функция. В результате получается система уравнений. Её решение можно реализовать программно и разработать программное обеспечение по распределению пользователей во время трансляции.

### ABSTRACT

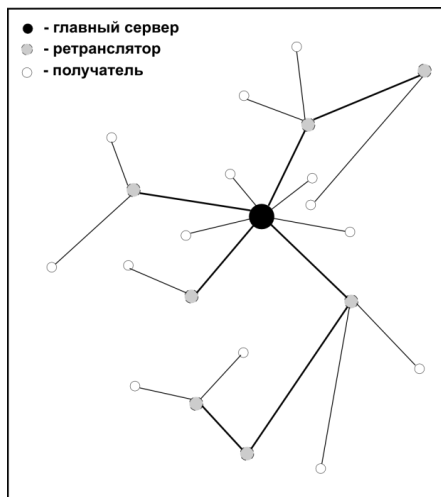
Conducting Internet broadcasts in real-time video requires the organization of the system of video points which are connected to each

other. It is necessary to organize the best connection to the points for users. The paper presents a mathematical formulation of the problem of distribution of users at a high load on the broadcasting system and its solution. Objective function is defined. System of equations is obtained as a result. Its solution can be implemented in software. Software on the distribution of users during the broadcast can be developed.

**Ключевые слова:** транспортная задача; линейное программирование; онлайн видео технологии; распределение пользователей; целевая функция; видео реального времени

**Keywords:** transportation problem; linear programming; online video technology; the distribution of users; the objective function; real-time video

Использование сети Интернет для проведения онлайн-семинаров, конференций, а также для показа событий различного рода в реальном времени, на сегодняшний день очень актуально. Чаще всего для этого используют некоторую систему связанных видеосерверов [4] для предоставления качественных услуг большому количеству пользователей, чтобы снизить нагрузку на одну конкретную машину. В данном случае под видеосерверами понимаются: во-первых, сервер-инициатор трансляции (главный сервер); во-вторых сервера-ретрансляторы, которые выполняют роль промежуточного звена между главным сервером и клиентами-зрителями, получая от предыдущего сервера  $n$  установленных видеопотоков и передавая их далее. Один ретранслятор может быть связан с другим и так далее, всё больше увеличивая количество зрителей (рис. 1):



**Рисунок 1. Пример организации онлайн видео трансляции**

Однако и главный сервер, и ретрансляторы с точки зрения конечного пользователя являются однотипными и представляют собой систему, которая имеет суммарную нагрузку, общее количество подключённых пользователей и др.

С начала трансляции к системе видеосерверов может подключиться  $M_{\max}$  пользователей. При этом каждый вновь подключаемый пользователь будет занимать часть общей нагрузки на канал системы, и часть нагрузки на канал конкретного сервера. Под нагрузкой здесь понимается занимаемая пользователем пропускная способность интернет-канала видеоточки или системы в целом. Под каналом конкретного видеосервера понимается совокупность всех занятых линий от данной точки к другим.

Система может сама регулировать распределение  $M_{\max}$  пользователей по видеоточкам, отвечая за оптимальность выбранной схемы подключения, т.е. за число  $M_{\max}$  и нагрузку на канал конкретной точки. Однако, возникает ситуация, когда к системе хочет подключиться  $M_{\max}+1$  пользователь, однако та минимальная нагрузка ( $m_{\min}$ ), которую он просит, не может быть прибавлена к нагрузке конкретной видеоточки из-за нехватки ресурсов.

Самый простой способ в данном случае отказать в обслуживании на неопределённое время и поставить пользователя в очередь на подключение. Затем, когда кто-то отключится от системы и при

условии, что освобождённого ресурса будет достаточно, система может разрешить пользователю из очереди на подключение начать просмотр.

Однако этот вариант нельзя назвать оптимальным при условии, если система имеет незанятую пропускную способность отличную от нуля, т. е.  $R_{св} > 0$ , где  $R_{св}$  — общая незанятая пропускная способность.

При условии, если  $m_{min} \leq R_{св}$  можно попробовать перераспределить  $M$  пользователей по  $N$  видео-серверам, где  $M$  — число отобранных пользователей для перемещения, включающее  $M_{max} + 1$  пользователя, а  $N$  — число отобранных видеосерверов, которые должны принимать участие в перераспределении.

В данном случае речь идёт именно о выборке, а не обо всех видеосерверах и всех подключённых к системе пользователях, поскольку существуют единицы, которые необходимо исключить. Например, видеосервера у которых  $R=0$ , где  $R$  — пропускная способность конкретного видеосервера. Также необходимо исключить пользователей, занимаемых пропускную способность большую, чем  $R_{св}$ .

Тем не менее, формулировка задачи останется прежней. Поэтому вопрос выборки пользователей для перемещения не входит в постановку задачи в данной работе. Также здесь мы принимаем условие, что все видеосервера могут передавать одинаковые потоки видеоданных, частично упрощая задачу.

Формулировка задачи может быть представлена следующим образом: есть система из  $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_N\}$  видеосерверов, у которых сосредоточены запасы одного и того же видеопотока. О каждом видеосервере известна следующая информация:

$R_i$  — пропускная способность  $i$ -го ретранслятора,

$R_{i ms}$  — занятая пропускная способность на  $i$ -м ретрансляторе,

$M_i$  — количество пользователей, подключённых к  $i$ -му ретранслятору где  $i = \overline{1, N}$ ,

$m_j$  — пропускная способность, необходимая для обслуживания  $j$ -го пользователя при подключении к системе видеопотоков, где  $j = \overline{1, M}$ ,  $M$  — общее количество пользователей,  $m_j$  — одинаково при подключении к любому из серверов,  $m_j < R_{св}$ , где  $R_{св}$  — общая незанятая пропускная способность системы.

К системе хочет подключиться один пользователь, просящий  $m_{j+1}$  пропускной способности при условии, что  $m_{j+1}$  есть минимально запрашиваемое число, причём  $m_{j+1} \leq R_{св}$  и  $m_{j+1} > \max(m_j)$  (т. е. больше самого большого ресурса, занимаемого одним из пользователей). Как распределить пользователей по видеосерверам с учётом подключения нового пользователя, чтобы число перемещений было минимальным, а само перераспределение оптимальным при условии, что каждый

конкретный пользователь может быть подключён только к одному видеосерверу?

Условие нахождения минимального количества перемещений по видеосерверам связано с тем, что таким образом число пользователей, которых необходимо отключить и подключить вновь, будет минимальным, что немаловажно при организации прямого эфира.

Количество  $m_{j,i}$  было выбрано как постоянное в связи с тем, что не должно происходить ухудшение или улучшение качества конечного видеоизображения, что происходит при понижении или повышении размера необходимой пропускной способности. Т.е. если пользователь был подключён к видеоточке № 1 и занял пропускную способность в 2 Мб, вторая точка может принять его ровно с такой же пропускной способностью. Если же это условие не может быть удовлетворено, такого пользователя необходимо оставить на прежней видеоточке и не учитывать его при переподключении.

Сформулированная выше задача частично напоминает транспортную [3], однако имеет ряд отличий:

1. Каждый потребитель услуг может быть подключён только к одному источнику вещания. В классической транспортной задаче товар можно заказывать и получать из разных точек.

2. В транспортной задаче изначально не составлен опорный план. В случае данной задачи существует опорный план подключения пользователей к видеоточкам без учёта вновь подключаемого пользователя с  $m_{j,j}$  запрашиваемой пропускной способностью.

3. В транспортной задаче необходимо составить оптимальный план перевозок. При этом лучший вариант — это вариант с минимальными затратами на перевозки. В нашем случае ограничения задачи говорят о том, что затраты всегда будут одинаковыми. При этом при решении задачи необходимо учитывать то, что число перемещений (перестановок) должно быть минимальным.

Несмотря на указанные отличия, данную задачу можно отнести к классу задач линейного программирования [2]. Это в свою очередь говорит о том, что её можно перенести на программный код и реализовать как некоторое программное обеспечение по оптимальному подключению пользователей.

Поскольку существует некоторый опорный план подключения, воспользуемся им: составим систему уравнений и целевую функцию для решения задачи [1].

Схематически задачу распределения можно представить в виде матрицы, содержащей нули (пользователь не подключён к данной видеоточке) и единицы (пользователь подключён к данной

видеоточке). Строки матрицы — М пользователей. Столбцы — N видео-точек. Пересечение  $x_{i,j}$  означает принадлежность пользователя к видеоточке (1 — «истина/принадлежит», 0 — «ложь/не принадлежит»).

Саму задачу можно записать в виде таблицы (табл. 1). Необходимо вписать в каждую ячейку таблицы 0 либо 1, так чтобы занять необходимое общее количество ресурсов. Т. е. необходимо найти все  $x_{i,j}=1$  при этом, удовлетворяя условию, что количество перераспределений (т. е. перемещений с первоначального видеоузла на другой) должно быть минимальным. Поскольку при перемещении с одного сервера на другой число занимаемых ресурсов остаётся прежним, нахождение минимума перестановок и будет целевой функцией.

**Таблица 1.**

**Матрица подключений**

	$n_1$	$n_{...}$	$n_N$	$m$
$u_1$	$x_{1,1}$	$x_{...,1}$	$x_{N,1}$	$m_1$
$u_{..}$	$x_{1,...}$	$x_{...,...}$	$x_{N,...}$	$m_{...}$
$u_M$	$x_{1,M}$	$x_{...,M}$	$x_{N,M}$	$m_j$
$u_{M+1}$	$x_{1,M+1}$	$x_{...,M+1}$	$x_{N,M+1}$	$m_{j+1}$
$R$	$R_j$	$R_{...}$	$R_N$	

В общем случае все найденные  $x_{i,j}$  должны удовлетворять условию (формула 1):

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} x_{i,j} * m_j \leq R \tag{1}$$

Также известна матрица существующих значений на момент начала выполнения алгоритма подключений. Её вид и размер соответствуют искомой матрице, то есть она состоит из 0 и 1, во всех строках (кроме последней) один элемент равен 1, все остальные — 0. Последняя строка заполнена нулями. Количество перенесённых пользователей будет тем меньше, чем меньше различий между заданной и искомой матрицами. Обозначим элементы заданной матрицы  $u_{i,j}$ . Необходимо найти (формула 2):



$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} |x_{i,j} - y_{i,j}| \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} x_{i,j} * m_j \leq R. \end{array} \right. \quad (2)$$

Минимальное значение целевой функции — 2: 1 от подключения пользователя и 1 при переносе одного пользователя.

Если рассматривать табл. 1, как сочетание строк или сочетание столбцов, тогда появляется ещё несколько ограничений. Одно из них — по строкам (формула 3). Другое — по столбцам (формула 4).

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} = 1, \quad j = \overline{1, M+1} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{M+1} x_{i,j} * m_j \leq R_N, \quad i = \overline{1, N} \quad (4)$$

В формуле 3 сложение происходит по строкам. Т. е. Будет M+1 уравнений, в каждом из которых существует лишь одно  $x_{i,j}=1$ .

В формуле 4 сложение происходит по столбцам. Т. е. будет N уравнений, в каждом из которых могут встречаться как значения  $x_{i,j}=1$ , так и  $x_{i,j}=0$ . Однако, вписанная суммарная пропускная способность не должна превышать возможной пропускной способности на выбранной видео-точке.

Тогда система уравнений примет следующий вид (формула 5):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} |x_{i,j} - y_{i,j}| \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} x_{i,j} * m_j \leq R, \\ \sum_{i=1}^N x_{i,j} = 1, \quad j = \overline{1, M+1}, \\ \sum_{j=1}^{M+1} x_{i,j} * m_j \leq R_N, \quad i = \overline{1, N}, \\ x_{i,j} \in \mathbb{N}, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M+1}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Следовало бы потребовать, чтобы все  $x_{ij}$  могли принимать только 2 значения: 0 и 1. Однако это условие оказывается излишним.

Рассмотрим пример решения задачи о распределении пользователей по видеоточкам. Пусть при проведении онлайн-вещания футбольного матча задействовано 2 сервера. Об эфире известна следующая информация, необходимая для подключения нового пользователя (табл. 2):

**Таблица 2.**

**Пример матрицы подключений**

	<b>n<sub>1</sub></b>	<b>n<sub>2</sub></b>	<b>m</b>
<b>u<sub>1</sub></b>	1	0	2
<b>u<sub>2</sub></b>	0	1	2
<b>u<sub>3</sub></b>	1	0	1
<b>u<sub>4</sub></b>	0	1	1
<b>u<sub>5</sub></b>	0	0	4
<b>R</b>	5	5	

Изначально матрица равна матрице существующих подключений.

Проверим, достаточно ли ресурсов для подключения пользователя  $u_5$ : пользователь запрашивает 4 единицы, 4 единицы доступно с учётом того, что пользователи  $u_{1-4}$  занимали пропускную способность 2, 2, 1, 1 соответственно ( $10-6=4$ ). Значит, пользователя можно попробовать подключить к системе.

Составим систему уравнений (формула 6):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 |x_{i,j} - y_{i,j}| \rightarrow \min, \\
 x_{1,1} * 2 + x_{1,2} * 2 + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} * 4 + x_{2,1} * 2 + x_{2,2} * 2 + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} * 4 \leq 10, \\
 x_{1,1} + x_{2,1} = 1, \\
 x_{1,2} + x_{2,2} = 1, \\
 x_{1,3} + x_{2,3} = 1, \\
 x_{1,4} + x_{2,4} = 1, \\
 x_{1,5} + x_{2,5} = 1, \\
 x_{1,1} * 2 + x_{1,2} * 2 + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} * 4 \leq 5 \\
 x_{2,1} * 2 + x_{2,2} * 2 + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} * 4 \leq 5 \\
 x_{i,j} \in \mathbb{N}, i = 1, 2, j = \overline{1, 5}.
 \end{array} \right. \tag{6}$$

Предположим, что нового пользователя необходимо подключить к точке  $n_1$ . Тогда нарушается неравенство (формула 7):

$$x_{1,1} * 2 + x_{1,2} * 2 + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} * 4 = 2 + 0 + 1 + 0 + 4 = 7 \leq 5. \quad (7)$$

Чтобы уравновесить это выражение необходимо переместить 2 единицы на точку  $n_2$ . Перенесём пользователя  $u_1$  и проверим уравнения (формула 8):

$$\begin{aligned} x_{1,1} * 2 + x_{1,2} * 2 + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} * 4 &= 0 + 0 + 1 + 0 + 4 = 5 \leq 5, \\ x_{2,1} * 2 + x_{2,2} * 2 + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} * 4 &= 2 + 2 + 0 + 1 + 0 = 5 \leq 5. \end{aligned} \quad (8)$$

Все равенства выполняются. Новая таблица подключений (табл. 3):

**Таблица 3**

**Матрица подключений с учётом запроса нового пользователя**

	$n_1$	$n_2$	$m$
$u_1$	0	1	2
$u_2$	0	1	2
$u_3$	1	0	1
$u_4$	0	1	1
$u_5$	1	0	4
$R$	5	5	

Проверим целевую функцию (формула 9):

$$\begin{aligned} |x_{1,1} - y_{1,1}| + |x_{1,2} - y_{1,2}| + |x_{1,3} - y_{1,3}| + |x_{1,4} - y_{1,4}| + |x_{1,5} - y_{1,5}| + |x_{2,1} - y_{2,1}| + \\ + |x_{2,2} - y_{2,2}| + |x_{2,3} - y_{2,3}| + |x_{2,4} - y_{2,4}| + |x_{2,5} - y_{2,5}| = 1 + 0 + 0 + 0 + 1 = 2 \end{aligned} \quad (9)$$

Количество перемещений минимально. Согласно табл. 3 вся доступная пропускная способность будет занята. Переместить необходимо  $u_1$  и подключить  $u_5$  к  $n_1$ .

При большом количестве видеоточек и подключённых пользователей, решение задачи «вручную» очень затратная по времени работа. К тому же решение подобного типа задач не в коем случае не требует ручного труда, поскольку так или иначе переподключением должна заниматься программа, входящая в программное обеспечение системы видеоточек. Поэтому появляется необходимость:

1. Разработать программу, которая позволила бы проверить правильность предложенной модели. В данном случае лучше всего использовать существующие математические пакеты со встроенными функциями.

2. После этапа тестирования необходимо внести изменения в решении задачи, если это необходимо.

3. Реализовать программный продукт, позволяющий в реальном времени подключать и переключать пользователей при частичной перегрузке системы.

Решение этих вопросов станет предметом наших дальнейших исследований.

Выражаем особую благодарность Прохорову В.В., Овечкиной Е.В., Литвиненко Н.А., Лупареву В.В., за помощь в решении задачи и ценные замечания.

### **Список литературы:**

1. Альсова О.К., Казанская О.В., Юн С.Г.. Методы оптимизации и теория принятия решения: учебн. пособие [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://edu.nstu.ru/courses/mo\\_tpr/files/0.html](http://edu.nstu.ru/courses/mo_tpr/files/0.html) (дата последнего обращения: 19.05.2012)
2. Банди Б. Основы линейного программирования: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 176 с.: ил.
3. Самаров К.Л. Транспортная задача: учебн. пособие. [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.resolventa.ru/metod/student/transproblem.htm> (дата последнего обращения: 19.05.2012)
4. Vidicor Video System. [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://vidicor.ru/> (дата последнего обращения: 19.05.2012)

# **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КОНТУРНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

***Стебулянин Михаил Михайлович***

*канд. техн. наук, доцент, начальник управления подготовки научных  
кадров, МГТУ «Станкин», г. Москва  
E-mail: [mmsteb@rambler.ru](mailto:mmsteb@rambler.ru)*

***Синицын Андрей Геннадьевич***

*аспирант кафедры «Робототехника и мехатроника»,  
МГТУ «Станкин», г. Москва  
E-mail: [ru.by@bk.ru](mailto:ru.by@bk.ru)*

## **KINEMATIC PATH CONTROL ALGORITHM FOR INDUSTRIAL ROBOT IN REAL-TIME MODE**

***Mikhail Stebulyanin***

*Candidate. Technical. Associate Professor. Head of the MSUT “Stankin”  
department of scientific personnel training. Moscow*

***Andrey Sinitsyn***

*MSUT “Stankin”, “Robotics and mechatronics” subdepartment graduate  
student. Moscow*

### **АННОТАЦИЯ**

В данной работе предложен кинематический алгоритм контурного управления манипуляционными роботами, направленный на оперативное формирование программы движения манипулятора. Приводится математическое обоснование алгоритма и правила настройки параметров уравнения управления. Представлены результаты математического моделирования процесса преследования роботом движущейся цели, подтверждающие эффективность работы алгоритма.

### **ABSTRACT**

We propose a new path control kinematic algorithm for industrial manipulators, which is purposed for real-time control applications. Mathematical proof of the control equation and rules of parameters choice are

given in this paper. Basing on the simulation results, which are represented in this paper, we make conclusions about the algorithm's efficiency.

**Ключевые слова:** уравнение управления; контурное управление; манипуляционный робот; кинематический алгоритм.

**Keywords:** control equation; path control; robot manipulator; kinematic control algorithm.

Одной из актуальных задач управления манипуляционными роботами является разработка новых алгоритмов контурного управления, направленных на оперативное формирование желаемого закона движения приводов  $\mathbf{q}(t)$ . Возможная область применения таких алгоритмов достаточно широка и в первую очередь связана с роботизацией технологических процессов, характеризующихся нечеткой исходной информацией. Так, например, при выполнении роботизированных сварочных операций крупногабаритных заготовок в судостроительном производстве [6, с. 377] или изготовлении мачтовых конструкций [1, с. 33] возникают существенные погрешности расположения стыка свариваемых поверхностей в рабочей зоне манипулятора, в связи с чем, возможности применения традиционных методов off-line программирования ограничены.

Под задачей контурного управления  $n$ -звенным манипуляционным роботом будем понимать задачу определения функции обобщенных координат  $\mathbf{q}_f(t)$  в зависимости от желаемого закона движения  $\mathbf{r}_d(t)$  в физическом пространстве. Кинематический подход заключается в выборе закона управления ошибкой  $\mathbf{e}_{fd}(t) = \mathbf{r}_d(t) - \mathbf{r}_f(t)$ , называемого уравнением управления, от которого зависят основные показатели качества системы управления: быстрдействие, перерегулирование переходных процессов, робастность ( $\mathbf{r}_f(t)$  — фактический закон движения рабочего органа манипулятора).

Уравнение управления ошибкой  $\mathbf{e}_{fd}$  выбирается из числа линейных однородных дифференциальных уравнений  $n$ -го порядка и в общем случае имеет вид:

$$\frac{k_1}{\alpha^n} \mathbf{e}_{fd}^{(n)} + \frac{k_2}{\alpha^{n-1}} \mathbf{e}_{fd}^{(n-1)} + \dots + \frac{k_n}{\alpha} \dot{\mathbf{e}}_{fd} + \mathbf{e}_{fd} = 0, \quad (1)$$

где  $k_1, k_1, \dots, k_n$  — постоянные коэффициенты,  $\alpha$  — параметр адаптивной настройки кинематического алгоритма, определяющий скорость переходного процесса.

При одних и тех же значениях коэффициентов  $k_1, k_2, \dots, k_n$  выполняется следующее соотношение для времени переходного процесса  $t_1$  при  $\alpha = 1$  и времени переходного процесса  $t_2$  при  $\alpha = \alpha_0$  [5, с. 18] :

$$t_1 = \alpha_0 t_2 \quad (2)$$

Кроме того, характер протекания переходного процесса в системе, описываемой уравнением (1) сильно зависит и от начальных условий  $\mathbf{e}_{fd}^{(n)}(0), \mathbf{e}_{fd}^{(n-1)}(0), \dots, \dot{\mathbf{e}}_{fd}(0)$ .

Таким образом, возникает задача выбора оптимального по критериям устойчивости и быстродействия уравнения управления.

Рассмотрим задачу выбора коэффициентов уравнения (1) в одномерном пространстве, т. е. для одной из компонент вектора  $\mathbf{e}_{fd}$  при выполнении условий:

$$e_{fd}^{(n)}(0) = 0, e_{fd}^{(n-1)}(0) = 0, \dots, \dot{e}_{fd}(0) = 0, e_{fd}(0) = e_0 \neq 0 \quad (3)$$

Выбор левой части уравнения (1) будем проводить из числа типовых нормированных полиномов (биномиальных и колебательных), используемых при проектировании желаемых передаточных функций замкнутых систем управления в алгебраическом методе синтеза [5, с. 15].

Рассмотрим типовые нормированные полиномы  $P(s) = p_1 s^n + p_2 s^{n-1} + \dots + p_n s + 1$ , используемые для синтеза передаточных функций замкнутых систем управления, не обладающих нулями.

Имеет смысл использовать только полиномы второго порядка, т. к. увеличение порядка  $n$  приводит к снижению быстродействия системы управления и повышению вычислительной сложности алгоритма.

Показатели качества переходной функции системы управления, описываемой передаточной функцией вида  $W_{\zeta\delta i}(s) = \frac{1}{P(s)}$  и показатели качества переходного процесса по ошибке  $e_{fd}(t)$  при выборе уравнения управления в виде  $p_1 e_{fd}^n(t) + p_2 e_{fd}^{n-1}(t) + \dots + p_n \dot{e}_{fd}(t) + e_{fd}(t) = 0$  совпадают при выполнении условия (3).

При невыполнении условия (3) показатели качества переходного процесса в системе, описываемой уравнением  $p_1 e_{fd}^n(t) + p_2 e_{fd}^{n-1}(t) + \dots + p_n \dot{e}_{fd}(t) + e_{fd}(t) = 0$ , не соответствуют аналогичным характеристикам переходной функции системы с передаточной функцией вида  $W_{\zeta\delta i}(s) = \frac{1}{P(s)}$ . В связи с чем,

возникает отдельная задача выбора коэффициентов  $k_i$  ( $i = 1..n$ ) уравнения управления (1) при ненулевых начальных скоростях.

Данный выбор проведем на основе сравнения переходных процессов с нулевыми и ненулевыми начальными условиями по скорости. В качестве критерия для определения оптимальных значений коэффициентов уравнения (1) примем среднеквадратичную функцию невязки указанных переходных процессов:

$$J = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (e_{fd}(t_i) - e_{Et}(t_i))^2, \quad (4)$$

где  $e_{Et}(t)$  — эталонный переходный процесс при нулевых начальных условиях по скорости и значениях коэффициентов уравнения управления  $k_1=1$ ,  $k_2=1,5$ ;  $e_{Et}(0) = e_{fd}(0)$ ;  $t_i = 0,5i$ ;  $i = 1..m$ ;  $m = 10$ .

Предлагаемый критерий подлежит минимизации.

При указанной форме критерия  $J$  (4) аналитическое решение системы двух уравнений



$$\begin{cases} \frac{dJ}{dk_1} = 0 \\ \frac{dJ}{dk_2} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

относительно  $k_1$  и  $k_2$  является затруднительным. Однако при заданных начальных условиях  $e_{fd0} = e^*$ ,  $\dot{e}_{fd0} = \dot{e}^*$  найти оптимальные значения коэффициентов  $k_1 = k_1^*$ ,  $k_2 = k_2^*$  можно, используя численные методы. В данной работе для решения (5) использовалась стандартная функция `fminsearch` среды Matlab.

Поэтому для приближенного нахождения зависимостей  $k_1(e_{fd0}, \dot{e}_{fd0})$  и  $k_2(e_{fd0}, \dot{e}_{fd0})$  воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК). Зависимость оптимальных значений  $k_1$  и  $k_2$  от величин начальных условий опишем моделью, представляющей собой комбинацию линейной, квадратичной и кубической форм:

$$\begin{aligned} k_1 &= a_{11}e_{fd0} + a_{12}\dot{e}_{fd0} + a_{13}e_{fd0}^2 + a_{14}\dot{e}_{fd0}^2 + a_{15}e_{fd0}\dot{e}_{fd0} + a_{16}e_{fd0}^3 + \\ &+ a_{17}\dot{e}_{fd0}^3 + a_{18}e_{fd0}^2\dot{e}_{fd0} + a_{19}e_{fd0}\dot{e}_{fd0}^2; \\ k_2 &= a_{21}e_{fd0} + a_{22}\dot{e}_{fd0} + a_{23}e_{fd0}^2 + a_{24}\dot{e}_{fd0}^2 + a_{25}e_{fd0}\dot{e}_{fd0} + a_{26}e_{fd0}^3 + \\ &+ a_{27}\dot{e}_{fd0}^3 + a_{28}e_{fd0}^2\dot{e}_{fd0} + a_{29}e_{fd0}\dot{e}_{fd0}^2. \end{aligned}$$

Исходными данными для решения поставленной задачи с помощью МНК является множество значений  $k_1$  и  $k_2$ , полученных с использованием вышеупомянутой функции в конечном множестве точек  $(e_{fd0}, \dot{e}_{fd0})$ . Ограничимся рассмотрением начальных условий в диапазоне:  $e_{fd0} = 0 \dots 1$ ,  $\dot{e}_{fd0} = -0,5 \dots 0,5$ . Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1.

## Оптимальные значения коэффициентов уравнения управления

$e_{fd0}$	$k_i$	$\dot{e}_{fd0}$										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	$k_1$	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	1,00	0,55	0,40	0,3	0,25	0,25
	$k_2$	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	1,5	1,34	1,25	1,08	1,00	1,00
0,4	$k_1$	4,35	4,35	4,35	4,35	1,65	1,00	0,70	0,55	0,45	0,40	0,35
	$k_2$	3,34	3,34	3,34	3,34	1,80	1,5	1,39	1,34	1,30	1,25	1,17
0,6	$k_1$	4,35	4,35	4,35	2,10	1,35	1,00	0,80	0,65	0,55	0,45	0,41
	$k_2$	3,34	3,34	3,34	2,03	1,65	1,5	1,41	1,37	1,34	1,33	1,27
0,8	$k_1$	4,35	4,35	2,41	1,66	1,24	1,00	0,82	0,71	0,59	0,52	0,46
	$k_2$	3,34	3,34	2,19	1,81	1,60	1,5	1,43	1,39	1,36	1,34	1,33
1	$k_1$	2,98	2,61	1,88	1,44	1,18	1,00	0,86	0,74	0,66	0,58	0,52
	$k_2$	2,76	2,32	1,92	1,69	1,59	1,5	1,45	1,41	1,38	1,36	1,34

Сравнивая переходные процессы  $e_{fd}^+(t)$  и  $e_{fd}^-(t)$ , обладающие равными по модулю начальными условиями  $e_{fd0}^+ > 0$  и  $e_{fd0}^- < 0$  соответственно, из общего решения уравнения (1) с колебательным полиномом 2-го порядка в левой части

$$e_{fd}(t) = (e_{fd0} \cos \lambda t + \frac{e_{fd0}\gamma + \dot{e}_{fd0}}{\lambda} \sin \lambda t) \exp(-\gamma t)$$

можно заметить, что если  $\dot{e}_{fd0}^+ = -\dot{e}_{fd0}^-$ , то  $e_{fd}^+(t) = -e_{fd}^-(t)$ . Это означает, что переходные процессы  $e_{fd}^+(t)$  и  $e_{fd}^-(t)$  обладают одинаковыми характеристиками. Поэтому множество значений  $e_{fd0}$  в табл. 1 можно ограничить только положительными величинами.

Используя известную процедуру МНК [2, с. 343], получим следующие значения коэффициентов:

$$a_{11} = 12; \quad a_{12} = -6,9; \quad a_{13} = -1,3; \quad a_{14} = -22,9; \quad a_{15} = 3,3;$$

$$a_{16} = 11,8; \quad a_{17} = 8,3; \quad a_{18} = 4,23; \quad a_{19} = 1,7;$$

$$a_{21} = 12,6; \quad a_{22} = -3,9; \quad a_{23} = 0,6; \quad a_{24} = -23,3; \quad a_{25} = 1,9;$$

$$a_{26} = 12,1; \quad a_{27} = 3,6; \quad a_{28} = 1,4; \quad a_{29} = 1,2.$$

В пространстве возникает задача векторного управления, поэтому данный подход предполагает выбор разных значений коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  для управления различными компонентами вектора ошибки  $e_{fdx}$ ,  $e_{fdy}$ ,  $e_{fdz}$ . В этом случае вместо скалярных коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  в уравнении (1) используются диагональные матрицы вида:

$$\mathbf{K}_1 = \begin{bmatrix} k_{1x} & 0 & 0 \\ 0 & k_{1y} & 0 \\ 0 & 0 & k_{1z} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} k_{2x} & 0 & 0 \\ 0 & k_{2y} & 0 \\ 0 & 0 & k_{2z} \end{bmatrix}.$$

Далее на основе выбранного уравнения управления вида

$$\ddot{\mathbf{e}}_{fd} + \mathbf{K}_1 \dot{\mathbf{e}}_{fd} + \mathbf{K}_2 \mathbf{e}_{fd} = 0 \quad (6)$$

рассмотрим задачу формирования закона  $\mathbf{q}_f(t)$ , реализующего желаемый закон движения  $\mathbf{r}_d(t)$  в физическом пространстве для 6-звенного манипулятора ( $\mathbf{r}_d(t) \in R^{3 \times 1}$ ,  $\mathbf{q}_f(t) \in R^{6 \times 1}$ ).

Производная вектора ошибки  $\mathbf{e}_{fd}$  составит:

$$\dot{\mathbf{e}}_{fd} = \dot{\mathbf{r}}_d - \dot{\mathbf{r}}_f. \quad (7)$$

Векторы скоростей  $\dot{\mathbf{q}}_f(t)$  и  $\dot{\mathbf{r}}_f(t)$  связаны уравнением:

$$\dot{\mathbf{q}}_f(t) = \mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q}_f) \dot{\mathbf{r}}_f(t), \quad (8)$$

где  $\mathbf{J}(\mathbf{q}) \in R^{6 \times 6}$  — Якобиева матрица функции  $\mathbf{r}_f(\mathbf{q}_f)$ , которую можно представить в виде блочной матрицы:

$$\mathbf{J}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_s(\mathbf{q}) \\ \mathbf{J}_\theta(\mathbf{q}) \end{bmatrix}, \quad \text{где } \mathbf{J}_s(\mathbf{q}) \in R^{3 \times 6}, \quad \mathbf{J}_\theta(\mathbf{q}) \in R^{3 \times 6} \text{ — якобианы}$$

функций перемещения и ориентации соответственно.

Продифференцировав (8) с учетом (7), получим желаемый закон изменения обобщенных ускорений манипулятора, соответствующий движению  $\mathbf{r}_d(t)$  в физическом пространстве:

$$\ddot{\mathbf{q}}_f(t) = \mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q}_f)(\ddot{\mathbf{r}}_d - \ddot{\mathbf{e}}_{fd}) + (\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q}_f))'(\dot{\mathbf{r}}_d - \dot{\mathbf{e}}_{fd}) \quad (9)$$

После подстановки уравнения управления (6) окончательно получим:

$$\ddot{\mathbf{q}}_f(t) = \mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q}_f)(\mathbf{K}_1 \dot{\mathbf{e}}_{fd} + \mathbf{K}_2 \mathbf{e}_{fd} + \ddot{\mathbf{r}}_d(t)) + (\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q}_f))' \cdot (\dot{\mathbf{r}}_d(t) - \dot{\mathbf{e}}_{fd}) \quad (10)$$

При двукратном интегрировании уравнения (10) вычисляется искомая функция времени  $\mathbf{q}_f(t)$ .

Параметром настройки движения преследования целевого триэдра является угловая частота  $\alpha$  свободных колебаний звена (6).

Введем управление величиной  $\alpha$ , обеспечивающее монотонное убывание функции  $\varphi(t)$  — угла между векторами  $\dot{\mathbf{r}}_d$  и  $\dot{\mathbf{r}}_f$ . Выберем следующий критерий качества процесса преследования:

$$\frac{d}{dt}(\cos \varphi(\lambda)) > 0. \quad (11)$$

Выражая  $\cos \varphi$  через скалярное произведение векторов  $\dot{\mathbf{r}}_d$  и  $\dot{\mathbf{r}}_f = \mathbf{J}(\mathbf{q}_f)\dot{\mathbf{q}}_f$ , преобразуем неравенство (11) к виду:

$$\ddot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{q}}_f + \dot{\mathbf{r}}_d^T \dot{\mathbf{J}} \cdot \dot{\mathbf{q}}_f + \dot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{J} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_f - (\dot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{q}}_f) A > 0, \quad (12)$$

$$\text{где } A = \frac{\frac{d}{dt}(\dot{\mathbf{r}}_d \|\mathbf{J}\dot{\mathbf{q}}_f\|)}{\|\dot{\mathbf{r}}_d \|\mathbf{J}\dot{\mathbf{q}}_f\|} = \frac{d}{dt}(\ln(\dot{\mathbf{r}}_d \|\mathbf{J}\dot{\mathbf{q}}_f\|)).$$

Из уравнений (7) и (8) выразим вектор фактических обобщенных скоростей:

$$\dot{\mathbf{q}}_f = \mathbf{J}^{-1}(\dot{\mathbf{r}}_d - \dot{\mathbf{e}}_{fd}) \quad (13)$$

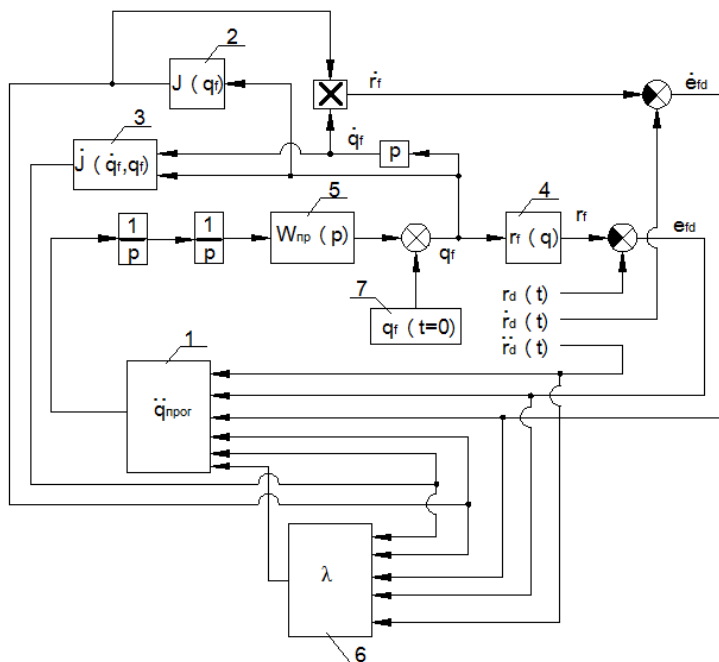
С учетом (10) и (13) из (12) получим следующее квадратичное неравенство относительно  $\alpha$ :

$$B_1 \alpha^2 + B_2 \alpha + B_3 > 0, \quad (14)$$

$$\text{где } B_1 = \dot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{K}_1^{-1} \mathbf{e}_{fd}; \quad B_2 = \dot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{K}_1^{-1} \mathbf{K}_2 \dot{\mathbf{e}}_{fd}; \\ B_3 = 2\ddot{\mathbf{r}}_d^T \dot{\mathbf{r}}_d - \ddot{\mathbf{r}}_d^T \dot{\mathbf{e}}_{fd} - (\dot{\mathbf{r}}_d^T \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{q}}) A.$$

Оптимальная величина  $\alpha$  на каждом такте управления рассчитывается в зависимости от значений младшего  $\alpha_1$  и старшего  $\alpha_2$  корня уравнения  $B_1\alpha^2 + B_2\alpha + B_3 = 0$ .

Величина  $\alpha$  задает динамику управления. Следует сказать, что завышенные значения  $\alpha$  приводят к перегрузке по потребной мощности движения преследования. Кроме того, величина  $\alpha$  должна быть согласована с возможностями следящего привода.



**Рисунок 1. Структура математической модели.**

Для оценки эффективности применения разработанного алгоритма было проведено компьютерное моделирование его работы. Структура математической модели представлена на рис. 1. На схеме введены следующие обозначения:

1 — блок расчета программных значений обобщенных ускорений на основании уравнения (5), 2 и 3 — блоки расчета якобиана и его первой производной по времени не дифференциальным способом [4, с. 121]; 4 — блок решения прямой задачи кинематики;

5 — блок, моделирующий влияние динамических свойств приводов на отработку программного закона изменения обобщенных координат; 6 — блок расчета оптимальных значений обратной постоянной времени  $\alpha$  в соответствии с рассмотренным алгоритмом; 7 — начальные условия для функции  $\mathbf{q}_f(t)$ .

Для учета влияния динамических свойств привода на процесс управления манипулятором была использована модель трехконтурного следящего привода постоянного тока, замкнутого по положению. При выборе для каждого из контуров тока, скорости и положения стандартных настроек на оптимум по модулю [3, с. 17] данный привод может быть приближенно описан передаточной функцией эквивалентного колебательного звена:

$$W_{id}(p) = \frac{1}{T_{\dot{y}}^2 p^2 + 2\zeta T_{\dot{y}} p + 1},$$

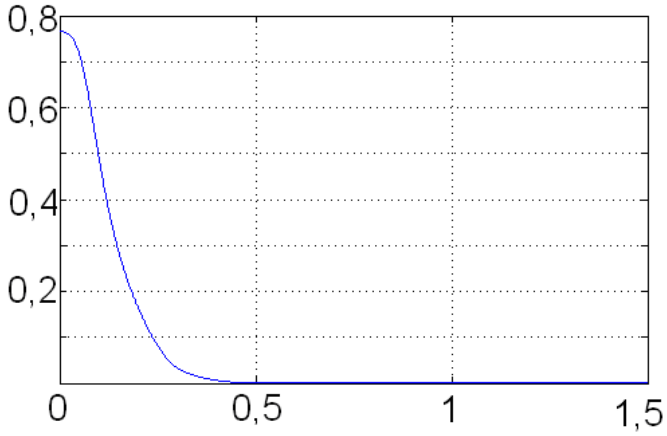
где  $T_{\dot{y}}$  — постоянная времени, а  $\zeta$  — коэффициент демпфирования.

Моделирование проводилось для трехзвенного манипулятора с кинематической схемой транспортных степеней подвижности робота KUKA KR-30-3.

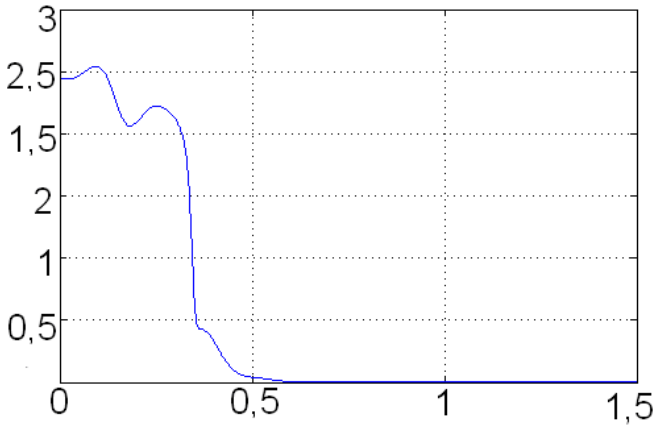
В качестве примера рассмотрим случай, когда задан желаемый закон движения полюса рабочего органа:

$$\mathbf{r}_d(t) = \begin{bmatrix} 0,25 \cdot \sin(0,5t) + 1,25 \\ -0,3 \cdot t + 1,5 \\ 0,3 \end{bmatrix}$$

Результаты моделирования при  $T_{\dot{y}} = 0,018$  с графически представлены на рис. 2—3.



*Рисунок 2. Изменение нормы вектора  $e_{jd}(t)$*



*Рисунок 3. Изменение угла  $\varphi(t)$*

### **Выводы**

Переходные процессы, представленные на рис. 2—3 свидетельствуют об устойчивости движения манипулятора под управлением разработанного кинематического алгоритма. Выбор значений  $\alpha$  в соответствии с критерием (11) позволяет повысить



монотонность кривой  $\varphi(t)$  на протяжении большей части переходного процесса при сохранении высокого быстродействия. Возрастание угла  $\varphi$  на некоторых фазах переходного процесса объясняется влиянием динамики приводов исполнительной системы робота и невозможностью удовлетворения условия (11) при определенном сочетании значений коэффициентов неравенства (14).

Таким образом, применение представленного метода оперативного формирования закона движения приводов  $\mathbf{q}_f(t)$  позволяет произвести адаптивную настройку алгоритма в зависимости от начальных условий при отсутствии априорной информации о целевом законе движения. Небольшой объем вычислений, предусмотренных данной методикой, делает возможным проводить расчет коэффициентов уравнения управления в режиме реального времени.

### Список литературы:

1. Алпеева Т.В., Котельников А.А. Роботизированное производство сварных ферм для мачтовых сооружений // Сварочное производство. 2007. № 1. С. 33—36.
2. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: учеб пособие. — М.: Высш. шк., 1994 — 544 с.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. — Л. Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 392 с.
4. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. Для вузов — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — 400 с.
5. Ким Д.П. Определение желаемой передаточной функции при синтезе систем управления алгебраическим методом // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 5. С. 15—21.
6. M.H. Ang Jr., W. Lin A, S-Y Lim. Walk-Trough Programmed Robot for Welding in Shiptards // Industrial Robot. Vol. 26, №. 5, 1999, pp. 377—388.

## **РАЗРАБОТКА ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ГБУЗ ОКБ № 2**

*Ханыков Денис Леонидович*

*студент 5-го курса, ТюмГНГУ, г. Тюмень*

*E-mail: [photo-72@yandex.ru](mailto:photo-72@yandex.ru)*

*Баранов Владимир Николаевич*

*д-р мед. наук, профессор ТюмГНГУ, г. Тюмень*

*E-mail: [faser14@rambler.ru](mailto:faser14@rambler.ru)*

## **DEVELOPMENT OF TELEMEDICAL SYSTEM FOR REGIONAL HOSPITAL № 2**

*Denis Hanukov*

*Fifth-year student TSOGU, Tyumen*

*Vladimir Baranov*

*MD, professor TSOGU, Tyumen*

### **АННОТАЦИЯ**

Цель — разработка записывающего узла для отснятой информации. Метод — модификация аппаратно-программного комплекса «Vidicor Video System». Результат — Модифицирован узел видеосвязи, усовершенствован блок телетрансляций в режиме on-Line, внедрены модифицированные узлы и блоки телемедицинской системы в ГБУЗ ТО ОКБ № 2 г. Тюмени. Выводы — в результате проведенной работы в 2,0 раза повышена скорость телетрансляций, в 1,5 раза улучшено качество передачи медицинской информации, облегчена работа медицинского персонала в системе телемедицины.

### **ABSTRACT**

Objective — development of the recording unit for a captured information. Method — modification of «Vidicor video system» Hard & Soft complex. Result — modified node of videophone, improved unit of on-line translations, implemented modified nodes and stations of Regional hospital № 2's telemedical system in Tyumen. Conclusion — as a result of our work, rate of teletranslation increased twice, quality of translations of

medical information increased in half, facilitated the work of medical personnel in the system of telemedicine.

**Ключевые слова:** телемедицина; видеопроцессор; блок телетрансляций; блок записи информации

**Keywords:** telemedicine, video processor, the block TV coverage, the information recording unit.

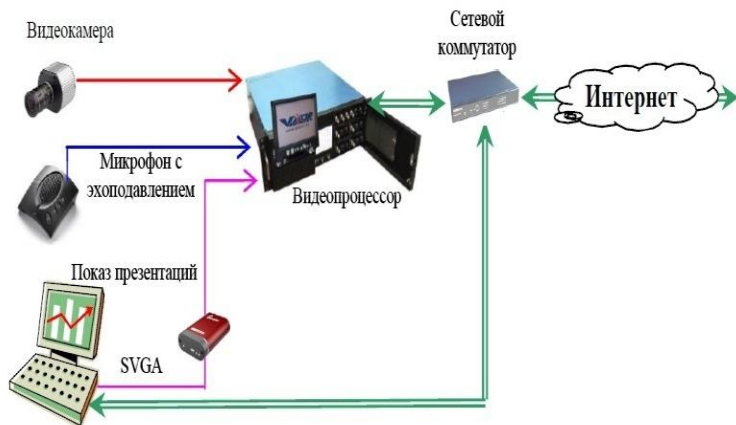
**Актуальность.** Создание телемедицинских систем (и сетей) является составным элементом общего направления информатизации здравоохранения в настоящее время [1, 2]. Без интеграции технологий телемедицины во вновь создаваемые или уже эксплуатирующиеся клинические (и госпитальные) автоматизированные информационные системы (АИС) невозможно построить сколько-нибудь жизнеспособного решения поддержки лечебно-диагностических процедур [3, 4]. В настоящее время активно модернизируется видеопроцессоры для телетрансляций диагностических и лечебных процедур. Создается множество технических решений, программного обеспечения, применяются новые усовершенствованные методики передачи биомедицинской информации. Сегодня быстро в телемедицину внедряются высокоскоростные видеопроцессоры, устройства для обработки информации и записи ее на цифровые носители и передачи в Интернет. Однако до сих пор еще не до конца созданы оптимальные видеопроцессоры, и устройства записи и передачи медицинских данных, в том числе и для Тюменской области.

Цель работы: разработка записывающего узла для отснятой информации. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

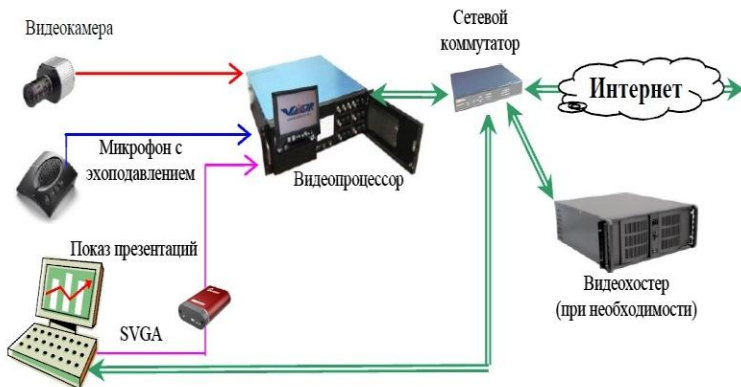
1. Модифицировать узел видеосвязи.
2. Усовершенствовать блок телетрансляций в режиме on-Line.
3. Внедрить модифицированные узлы и блоки телемедицинской системы ГБУЗ ТО ОКБ № 2.
- 4.

**Материал и методы.** В исследовании использовался аппаратно-программный комплекс «Vidicor Video System», который обеспечивает стандарты вещания HDTV 1920x1080 и 1280x720. Видеокамеры Panasonic NV-GS300GC и Panasonic NV-GS500GC. Видеоаудиомикшер Datavideo SE-500. Аудиомикшер, рекордер DVD класса Samsung DVD-R130. Программное обеспечение для нелинейного видеомонтажа Pinnacle Studio Pro AV/DV, кабели соединительные IEEE 1394–IEEE 1394, S-Video–S-Video, RCA–RCA.

**Результаты исследования.** В работе представлены результаты модификации телемедицинского аппаратно-программного комплекса «Vidicor Video System», который эффективно применяется в практическом здравоохранении г. Екатеринбурга и других регионах России (рис. 1.) и (рис. 2).



*Рисунок 1. Схема телемедицинского комплекса «Vidicor Video System».*



*Рисунок 2. Схема модифицированного телемедицинского комплекса «Vidicor Video System».*

В результате проведенного исследования усовершенствован узел видеосвязи с обычной веб камерой. Также модифицирован традиционный узел хранения данных. В телемедицинскую систему включен сервер хранения данных с большим объемом памяти, чем традиционный, на который будет записываться видео и звуковая информация. Разработана технология телетрансляций в режиме on-line. Данная разработка предложена для внедрения в ОКБ№ 2 г. Тюмени.

**Заключение.** Таким образом, в проведенном исследовании расширены возможности традиционных узлов и блоков телемедицинской системы и адаптированы для нужд здравоохранения Тюменского региона.

**Выводы** — в результате проведенной работы в 2,0 раза повышена скорость телетрансляций, в 1,5 раза улучшено качество передачи медицинской информации, облегчена работа медицинского персонала в системе телемедицины.

#### **Список литературы:**

1. Бакалов В.П. Основы биотелеметрии. Радио и связь. — М. 2001. — 322 с.
2. Блажис А.К., Дюк В.А. Телемедицина. — СПб: Спец. Лит. 2001. — 143 с.
3. Леванов В.М., Логинов В.А., Орлов О.И.. Телемедицина как учебная дисциплина. — М.: ООО Фирма «Слово», 2002 — 64 с.
4. Спиридонов И.Н. Биотелеметрия, сообщения и сигналы: Учеб. Пособие по курсу «Анализ и преобразование сигналов». М., 2001 — 165 с.

## СЕКЦИЯ 3

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ

*Караваева Дарья Николаевна*

*магистрант, АПИ НГТУ, г. Арзамас*

*E-mail: [KaravayevaDarya@mail.ru](mailto:KaravayevaDarya@mail.ru)*

*Пучков Вячеслав Павлович*

*канд. техн. наук, профессор АПИ НГТУ, г. Арзамас*

#### INCREASE OF FIRMNESS OF WORKING ELEMENTS OF DIVIDING STAMPS

*Darya Karavayeva*

*Master of technical science of Arzamas Polytechnical Institute  
branch of Nizhny Novgorod state technical university, Arzamas*

*Vyacheslav Puchkov*

*Candidate of Technical Sciences, professor of Arzamas Polytechnical  
Institute branch of Nizhny Novgorod state technical university, Arzamas*

#### АННОТАЦИЯ

Целью работы является разработка рекомендаций по повышению стойкости разделительных штампов различными упрочняющими методами. На основании классификации штампов по группам сложности, выделены детали-представители и соответствующие им разделительные штампы со сходным характером износа рабочих элементов. Для каждой группы штампов разработаны рекомендации по повышению их стойкости. Выполнение предложенных рекомендаций может значительно повысить стойкость штампов, а, следовательно, сократить количество плановых ремонтов и снизить себестоимость штамповой оснастки рассматриваемого предприятия.

## ABSTRACT

The purpose of work is development of recommendations about increase of firmness of dividing stamps by various strengthening methods. On the basis of classification of stamps by groups of complexity, details representatives and dividing stamps corresponding to them with similar nature of wear of working elements are chosen. Recommendations about increase of their firmness are developed for each group of stamps. Implementation of the offered recommendations can increase considerably firmness of stamps, and reduce number of planned repairs and reduce prime cost of stamps of the plant.

**Ключевые слова:** стойкость; разделительные штампы; поверхностное упрочнение; износостойкие покрытия; оптимизация параметров режущих кромок; виброобработка.

**Keywords:** firmness; dividing stamps; superficial hardening; wearproof coverings; optimization of parameters of cutting edges; vibrating processing.

Поиск путей повышения стойкости разделительных штампов был начат с определения существующего уровня стойкости и изучения причин потери работоспособности штампов в листоштамповочном цехе одного из предприятий города Арзамаса. Объектом исследования в данной работе выступают разделительные штампы на основании отчетов по выпуску и ремонту штампов инструментальным цехом предприятия (таблицы 1 и 2), из которых следует, что этот вид штамповой оснастки имеет на данном предприятии наибольшее применение (64 % от общего количества штампов, выпускаемых заводом), а также разделительные штампы являются наиболее по сравнению с формоизменяющими штампами (средняя трудоемкость изготовления одного разделительного штампа — 172,1 н/ч, формоизменяющего — 139,6 н/ч). Средняя стоимость ремонта разделительных штампов составляет 21 % от их стоимости при выпуске (таблица 2).

*Таблица 1*

### Отчет по выпуску штампов инструментальным цехом в 2011 г.

Наименование	Кол-во	Трудоемкость изготовления, н/ч	Стоимость, руб
Штамп вырубки	26	5204,76	8301357,8
Штамп пробивки	4	463,44	129518,4
Штамп комбинированный	30	4657,08	1107003,7
Штамп гибки	29	3987,3	1093911,36
Штамп вытяжки	5	760,5	273856,8
Итого	94	15073,08	10905648,06

Таблица 2

## Отчет по ремонту штампов инструментальным цехом в 2011 г.

Наименование	Кол-во	Трудоемкость ремонта, н/ч	Стоимость, руб
Штамп вырубки	18	1878	559824
Штамп пробивки	2	150	43200
Штамп комбинированный	46	5757,6	1603511
Штамп гибки	3	490	138810
Итого	69	8275,6	2345345

Для определения уровня стойкости и причин преждевременного разрушения были отобраны характерные разделительные штампы и соответственно штампуемые детали, применяемые в различных приборах серийного выпуска.

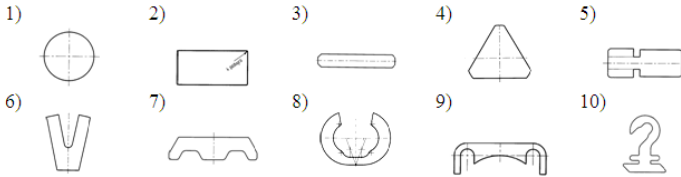
Отобранная номенклатура деталей была классифицирована по принципу сопоставимости рода, свойств и механических характеристик материала заготовки, степени сложности контура разделения, точности деталей.

Классификации подвергались вырубные, пробивные и комбинированные штампы для штамповки готовых деталей и заготовок из листов и лент толщиной 0,05—2,5 мм из углеродистых, легированных, инструментальных, а также коррозионно-стойких и электротехнических сталей, латуней, бронз, меди, алюминия и его сплавов.

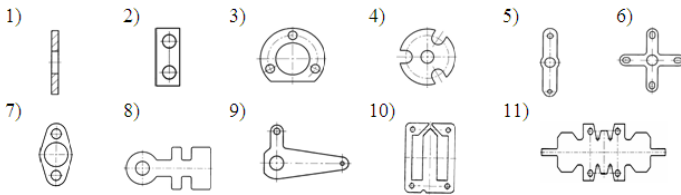
Все типы деталей по форме объединены в группы, каждая из которых отличается степенью сложности вырубаемого контура и включает детали сходной конфигурации. Первая группа сложности включает детали, вырубаемые по одному замкнутому контуру, вторая детали, вырубаемые по двум или более замкнутым контурам, расстояние между которыми значительно больше толщины заготовки, третья - детали типа пластин ротора и статора, реек, деталей с узкими и острыми (угол менее 60°) выступами и перемычками между контурами, соизмеримыми с толщиной заготовки (рисунок 1).



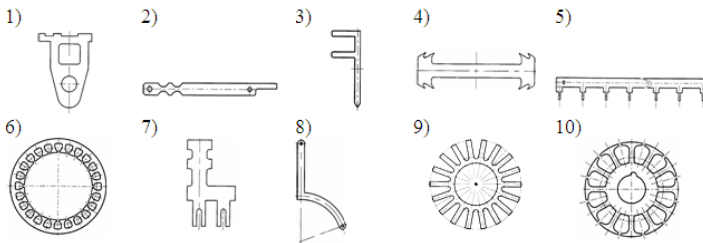
*1 группа*



*2 группа*



*3 группа*



**Рисунок 1 — Классификация деталей по группам сложности:**

**1 группа — детали, вырубаемые по одному контуру;**

**2 группа — детали, вырубаемые по двум контурам;**

**3 группа — детали с перемычками, соизмеримыми с толщиной заготовки**

В процессе изготовления партии деталей по паспорту эксплуатации штампа фиксировалась стойкость до перешлифовки рабочих частей и до полного износа штампа (таблица 3).

Таблица 3

## Стойкость исследуемых штампов по рабочим чертежам

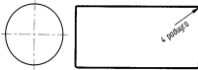

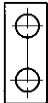



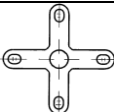
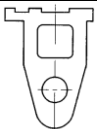
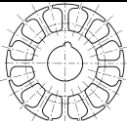
Деталь (рис.1)	Штампуемый материал	Толщина детали, мм	Межремонтная стойкость штампа, тыс. штампоударов	Полный ресурс штампа, тыс. штампоударов
<b>Группа 1:</b>				
Крышка (1)	Сплав 50Н ГОСТ 10160-75	0,3	18	210
Образец (2)	Сталь 05кп ГОСТ 1050-88	0,8	12	160
Планка (3)	Сталь 20Х13 ГОСТ 5582-75	2,5	15	180
Крышка (4)	Сталь 20Х13 ТУ 14-1-2186-77	1,2	12	150
Наконечник (5)	Латунь Л63М ГОСТ 2208-91	0,3	15	180
Ламель (6)	Латунь Л62М ГОСТ 2208-91	0,3	18	200
Контакт (7)	Бронза БрОФ6,5-0,15 ГОСТ 1761-79	0,25	8	120
Шайба (8)	Сталь 20 ГОСТ 16523-97	1,0	12	160
Прокладка (9)	Бронза БрБНТ 1,9 ГОСТ 1789-70	0,05	10	140
Наконечник (10)	Латунь Л63 ГОСТ 931-78	1,5	12	160
<b>Группа 2:</b>				
Шайба (1)	Сталь 08кп ГОСТ 16523-97	1,2	10	150
Накладка (2)	Д1А ГОСТ 21631-76	0,5	12	160
Прокладка (3)	Латунь Л63 ГОСТ 2208-91	0,05	18	200
Шайба специальная (4)	М1 ГОСТ 1173-77	0,5	15	180
Пластина (5)	Бронза БрБ2 ГОСТ 1789-70	0,08	12	150

Лепесток (6)	Латунь Л63М ГОСТ 931-70	0,5	18	200
Прокладка (7)	Латунь Л63 ГОСТ 2208-91	0,05	15	180
Наконечник (8)	Латунь Л63М ГОСТ 931-70	0,6	18	200
Пружина (9)	Бронза БрБ2 ГОСТ 1789-70	0,12	15	180
Пластина трансформаторная (10)	Сплав 79НМ ГОСТ 10160-75	0,1	18	200
Обойма (11)	Сталь 10кп ГОСТ 16523-97	0,8	12	160
<b>Группа 3:</b>				
Лепесток (1)	Латунь Л63 ГОСТ 931-70	0,4	18	200
Пластина (2)	Бронза БрБ2 ГОСТ 1789-70	0,3	12	160
Лепесток (3)	Латунь Л63-М ГОСТ 2208-91	0,8	22	250
Зажим (4)	Сталь 65Г ГОСТ 2283-79	0,5	18	200
Шина (5)	Латунь Л63 ГОСТ 931-78	0,4	18	200
Лист статора (6)	Сплав 50Н ГОСТ 10160-75	0,5	10	120
Контакт (7)	Латунь Л63 ГОСТ 2208-91	0,7	8	120
Вывод (8)	Латунь Л63 ГОСТ 2208-91	0,3	15	180
Прокладка (9)	Сталь 30ХГСА ГОСТ 11268-76	2,5	18	200
Высечка статорная (10)	Сталь 2421 ГОСТ 214272-83	0,27	12	180

Для оценки средней стойкости штампов из каждой группы отобрали характерную деталь-представитель и соответствующий разделительный штамп со стойкостью рабочих частей менее 200 тыс. резов до полного изнашивания (таблица 4). Количество деталей (штампов), объединенных в группу, составляло от 2 до 6 наименований.

Таблица 4

**Классификация деталей по группам и выбор детали-представителя**

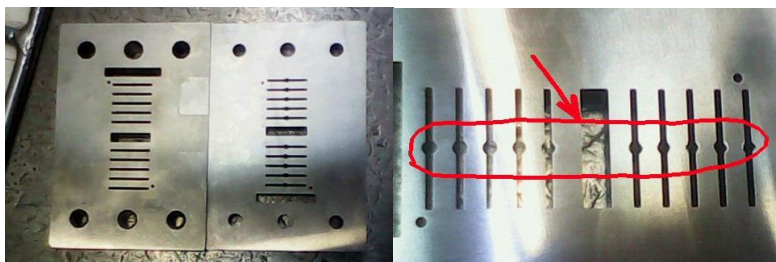
Группа деталей	Материал детали	Толщина ленты, мм	Деталь-представитель	Вид изнашивания штампа
1	2	3	4	5
Крышки, планки	Сталь 20Х13	0,3-2,5		Абразивное
Контакты, наконечники	Латунь Л63, Бронза БрБ2	0,05-1,0		Абразивное
Прокладки, накладки, шайбы	Латунь Л63	0,05-1,2		Адгезионное, абразивное
Выводы	Латунь Л63	0,3-0,8		Хрупкое разрушение
Обоймы	Сталь 10кп, Сплав 79НМ	0,1-0,8		Адгезионное, абразивное
Шины, пластины	Латунь Л63, Бронза БрБ2	0,4-0,8		Хрупкое разрушение, абразивное
Лепестки, пружины	Латунь, Бронза	0,05-0,5		Адгезионное, абразивное
Пластины	Бронза БрБ2, Латунь Л63	0,3-0,7		Хрупкое разрушение, адгезионное
Пластины статорные и роторные	Сплав 50Н, Сталь 30ХГСА	0,27-2,5		Хрупкое разрушение

Анализ характера износа штампов, поступивших в инструментальный цех на ремонт, показал, что основными причинами этого послужили: выкрашивание режущих кромок; смятие режущих кромок; износ по задней поверхности; объемное разрушение пуансонов. Часто встречающиеся картины износа пуансонов и матриц показаны на рисунках 3 и 4.



*Рисунок 3. Картины износа пуансонов*





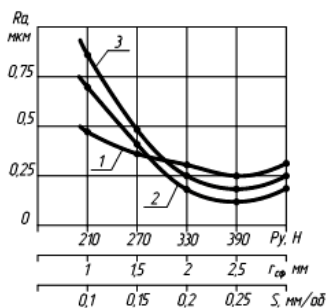
*Рисунок 4. Картины износа матриц*

Причинами низкой стойкости являются: во-первых, интенсивное естественное изнашивание и разрушение рабочих частей штампов, изготовленных из традиционных инструментальных сталей, не отвечающих требованиям эксплуатации, во-вторых, преждевременное изнашивание и разрушение вследствие воздействия конструкторско-технологических факторов, т. е. факторов, связанных с погрешностями конструкции, изготовления и сборки штампов, а также невыполнением требований инструкций по их эксплуатации.

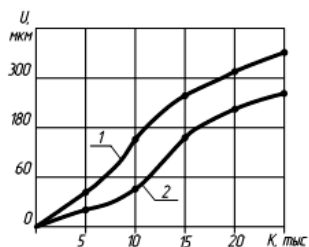
Можно предложить несколько способов обработки поверхностей рабочих частей штампов — поверхностное пластическое деформирование, химико-термическая обработка (ХТО), электроэрозионное легирование, лазерная термообработка, а также нанесение различных износостойких покрытий.

В результате алмазного выглаживания образуется поверхность с неровностями пологой обтекаемой формы, которую нельзя получить при лезвийных и абразивных способах обработки. Специфический микрорельеф в сочетании с высокими микротвердостью и остаточными напряжениями сжатия в тонком поверхностном слое обеспечивает существенное повышение износостойкости рабочих частей штампов [1]. В результате экспериментов получен ряд зависимостей шероховатости  $Ra$  от силы выглаживания  $P_y$ , радиуса рабочей части алмаза  $r_{сф}$  и подачи  $S$  (рисунок 5) при выглаживании боковых рабочих поверхностей пробивных пуансонов из стали У10А, термообработанной до HRC 50—55. Результаты производственных стойкостных испытаний шлифованных и выглаженных пуансонов при пробивке отверстий диаметром 4 мм в детали из стали 20 толщиной 1,6 мм приведены на рисунке 6. Из полученных результатов видно, что износ выглаженных пуансонов примерно в 2—3 раза меньше шлифованных. Повышение износостойкости выглаженных пуансонов объясняется упрочнением металла в тонком поверхностном слое,

улучшением условий смазки и теплоотвода из зоны пластической деформации. Данный способ упрочнения может быть применен к штампам для вырубки и пробивки заготовок простой конфигурации.



**Рисунок 5. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  от силы выглаживания  $P_y$  (1), радиуса рабочей части алмаза  $r_{сф}$  (2) и подачи  $S$  (3)**

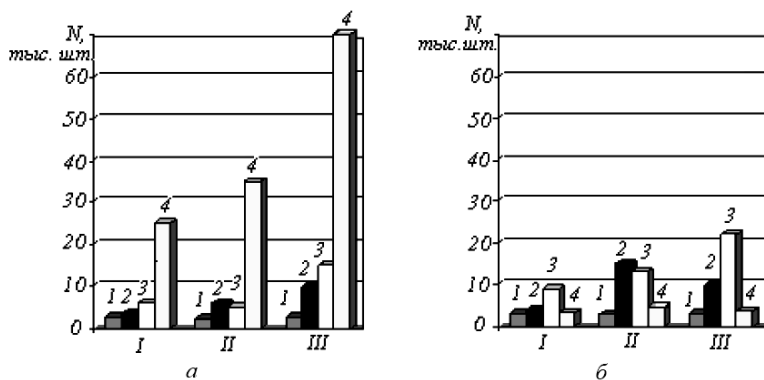


**Рисунок 6. Изменение линейного износа  $U$  пуансона в зависимости от числа  $K$  пробитых отверстий: 1 — шлифованных; 2 — выглаженных пуансонов**

Методы ХТО позволяют получить покрытия толщиной до 40 мкм и дают возможность увеличить стойкость рабочих поверхностей: при азотировании в 1,7—3,0 раза; борировании в 1,5—3,0 раза; карбонитрации в 2—4 раза. Применение ХТО позволяет проводить наиболее эффективное упрочнение внутренних контуров матриц, интенсивно подвергающихся износу. Долговечность повышается в 2—3 раза. А использование пуансона с износостойким покрытием из TiN в совокупности с матрицей после ХТО значительно повышает границу экономической эффективности штампа (до 5—10 тыс. шт. отверстий) (рис. 7, а и б). При таком сочетании получен наилучший результат — стойкость оснастки повышается в 3—7 раз [1]. Достоинством такого вида упрочнения является его универсальность — методы ХТО могут быть применены как к штампам для вырубки и пробивки заготовок простой конфигурации, так и к сложным комбинированным штампам для получения точных деталей сложной конфигурации.

Также важным направлением повышения стойкости пуансонов является оптимизация параметров их режущих кромок, главным образом радиуса скругления режущих кромок. Установлено, что оптимальным задним углом является угол  $\alpha=2^\circ$ , передним — угол  $\gamma=0^\circ$ , а радиусом скругления режущей кромки является радиус  $\rho=30$ —

40 мкм, формируемый электрохимическим полированием, которое обеспечивает высокое качество профиля режущей кромки [2]. Оптимизацию представляется возможным проводить у матриц и пуансонов штампов для вырубки и пробивки заготовок простой конфигурации.



**Рисунок 7. Диаграммы стойкости  $N$  пуансонов (а) и матриц (б) для пробивки отверстий в листах толщиной 2,5 мм:**

**I — сталь для глубокой вытяжки; II — сталь с содержанием углерода 0,6 %;**

**III — конструкционная сталь с содержанием углерода 0,3 %;**

**1 — без покрытия; 2 — азотирование; 3 — борирование;**

**4 — покрытие карбидом титана**

Для существенного уменьшения усилия пробивки и вырубки рекомендуется виброобработка деформирующим инструментом [3], который является источником возбуждения колебаний собственных частот заготовки. Применение вибрации позволяет интенсифицировать существующие методы снижения деформирующих усилий в процессах пробивки и вырубки, рассмотренные ранее. Виброобработку целесообразно применять при вырубке и пробивке заготовок из листов и лент толщиной от 2 до 3 мм. При вырубке толстого материала пуансоном со скошенными кромками для возбуждения автоколебаний достаточно нанести рифление на скошенную рабочую поверхность пуансона (рисунок 8).

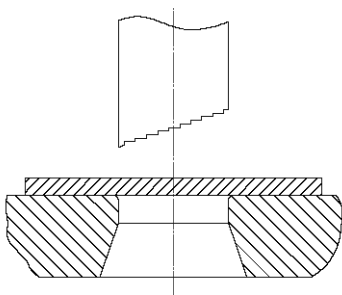
По мере внедрения пуансона в заготовку в последней возникают автоколебания, интенсифицирующие процесс вырубки. Аналогичным



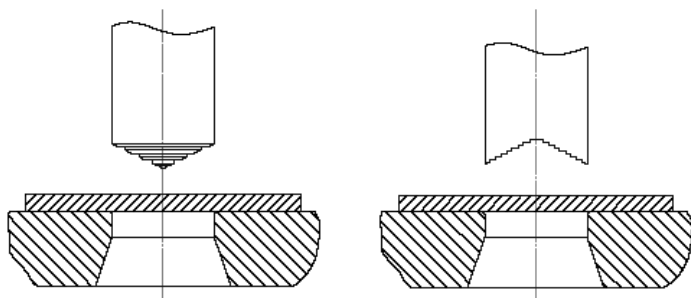
образом можно доработать режущие поверхности пуансонов с керном и конусом с двусторонним скосом (рисунок 10).

При групповой пробивке (многопуансонная вырубка) отверстий для уменьшения деформирующих усилий, как правило, применяют ступенчатое расположение пуансонов. Более короткие пуансоны должны проникнуть в заготовку в момент начала процесса скола при упругой разгрузке прессы после окончания процесса пробивки длинными пуансонами. Ступенчатое расположение пуансонов делают в комбинированных штампах для пробивки большого количества отверстий в деталях сложной конфигурации.

Наложение знакопеременных нагрузок на пуансон в момент образования скалывающихся трещин интенсифицирует процесс разрушения. Поэтому количество длинных пуансонов можно уменьшить при соответствующем увеличении количества коротких. Это повысит общее усилие вырубки и повысит стойкость пуансонов.



**Рисунок 8. Рифления на скошенной рабочей поверхности пуансона**



**Рисунок 10. Рифления на режущих поверхностях пуансонов с керном и конусом**

На основании экспериментальных исследований [3] было выявлено снижение усилий пробивки при применении предложенного инструмента в среднем в 1,56 раза.

Выполнение предложенных рекомендаций поможет значительно повысить стойкость штампов, а, следовательно, сократить количество плановых ремонтов, сэкономить дорогостоящие и дефицитные штамповые стали, увеличить производительность труда и улучшить условия работы штамповочных цехов.

### **Список литературы:**

1. Бородий Ю.П. Повышение стойкости режущих элементов разделительных штампов поверхностным упрочнением//Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». № 60, 2009. С. 60—63.
2. Бурькин В.В. Технологические методы повышения долговечности штамповой оснастки//Процессы механической обработки в машиностроении. № 7, 2009.С. 26—36.
3. Марцинюк О.Б., Маркевич А.Г. Виброобработка деформирующим инструментом при разделительных операциях листовой штамповки // Вестник КДПУ имени Михаила Остроградского. № 1, 2009. С. 42—45.

## **ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АППАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS-CFX**

***Усманова Регина Равиловна***

*канд. техн. наук, доцент, докторант УГАТУ, г. Уфа  
E-mail: [Regina\\_u@list.ru](mailto:Regina_u@list.ru)*

***Рекун Антон Павлович***

*студент, УГАТУ, г. Уфа  
E-mail: [orisung@gmail.com](mailto:orisung@gmail.com)*

***Абзалова Маргарита Рамиловна***

*студент, УГАТУ, г. Уфа  
E-mail: [margarita14r@gmail.com](mailto:margarita14r@gmail.com)*

# REALIZATION OF COMPUTING EXPERIMENT APPARATUS FOR CLEANING GAS EMISSIONS USING ANSYS-CFX

*Regina Usmanova*

*Candidate Technical, Associate Professor, Ph.D. UGATU, Ufa*

*Anton Rekun*

*Student UGATU, Ufa*

*Margarita Abzalova*

*Student UGATU, Ufa*

## АННОТАЦИЯ

Разработана гидродинамическая модель движения газопылевого потока в динамическом газопромывателе, позволяющая оценить его энергетические характеристики с учетом угла наклона лопастей завихрителя и гидравлического сопротивления газового потока, проходящего через аппарат. Проверка на адекватность гидродинамической модели показала хорошую сходимость результатов вычислительного эксперимента.

## ABSTRACT

Developed a hydrodynamic model of gas flow in a centrifugal scrubbers. The model makes it possible to assess its energy performance and takes into account the angle of swirler blades and hydraulic resistance of the gas flow through the apparatus. Checking the adequacy of the hydrodynamic model showed good agreement between the results of computer simulation.

**Ключевые слова:** Математическое моделирование; расчетная область; гидравлическое сопротивление; закрутка потока; газоочистка; завихритель; динамический газопромыватель.

**Keywords:** Mathematical modeling; calculated area; hydraulic resistance; flow swirling; gas purification; swirl; dynamic scrubber

Применяемые в настоящее время математические модели процессов газоочистки, как правило, сформированы на упрощенных теоретических представлениях о движении потоков газозвеси. Они недостаточно учитывают режимные и конструктивные параметры

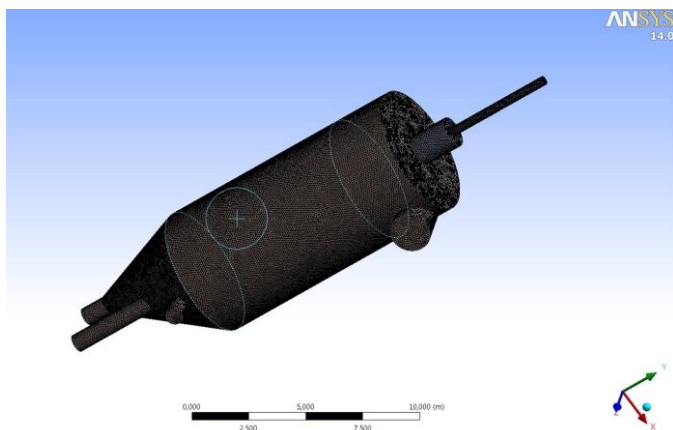
аппаратов газоочистки, а также аэрогидродинамические свойства газодисперсных потоков. Необходимы более полные и адекватные математические модели, основанные на совместном исследовании аэродинамики потоков газозвеси и происходящих в них явлений.

Программный комплекс ANSYS-14/CFX — современное средство моделирования, основанное на численном решении уравнений гидрогазодинамики [1, 2]. Гидродинамический расчет дает возможность определить гидравлическое сопротивление аппарата и предсказать эффективность процесса сепарации на стадии проектирования.

В качестве объекта исследования рассматривался газоочистной центробежный аппарат — динамический газопромыватель. Конструкция аппарата защищена Патентом РФ [3] Экспериментальные исследования проводились при следующих данных: динамический газопромыватель диаметром 0,25 м, диаметром сепаратора 0,23 м; воздушный поток движется со скоростью  $W_0$  от 1 м/с до 20 м/с и закручивается на 35°; пыль имеет диаметр частиц от 1 мкм до 50 мкм, плотность пыли равна 2300 кг/м<sup>3</sup>; запыленность потока 0,025 кг/м<sup>3</sup>.

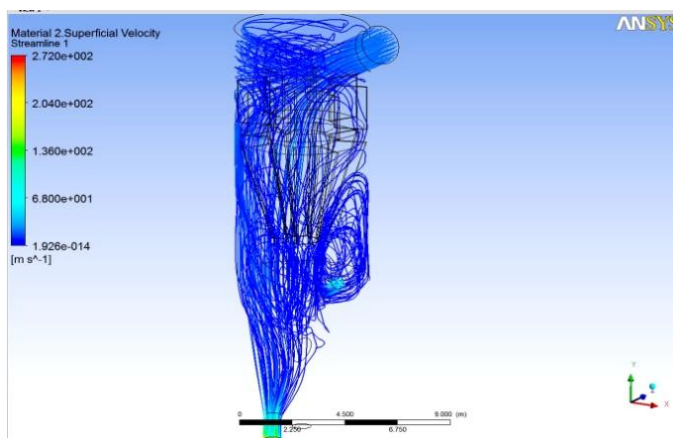
В системе автоматизированного проектирования Solid Works была создана геометрическая модель динамического газопромывателя. Затем проводилось ее импортное в программный комплекс ANSYS-14/CFX. Далее задавалась математическая модель движения газа, воды и дисперсных частиц. Модель рассчитывалась как несжимаемая жидкость и включала в себя: уравнение Навье-Стокса, уравнение неразрывности, уравнения к-ε модели турбулентности. Были заданы и расставлены граничные условия. На входе воды и запыленного газа были заданы температура и нормальная скорость, на выходе — тип границы «свободный выход». Были введены параметры расчета и метода численного моделирования, задавалась скорость вращения сепаратора. После чего генерировалась расчетная сетка, содержащая 2455125 элементов. Уравнения решались методом Рунге-Кутты 4 порядка.

На рисунке 1 представлен общий вид расчетной области.



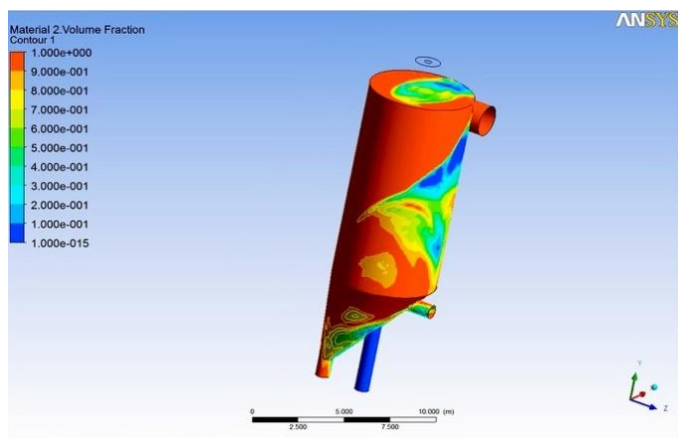
**Рисунок 1. Сеточная модель**

Полученные в результате расчетов линии тока, представленные на рисунке 2, показывают, что присутствие частиц твердой фазы упорядочивает течение в аппарате, делая его регулярным. В случае крупных частиц реализуется более регулярный вихревой столб между лопаточным завихрителем и нижним выхлопным патрубком.



**Рисунок 2. Линии тока дисперсной среды в осевом сечении аппарата**

Дисперсная фаза распределяется в объеме аппарата неравномерно. Максимум концентрации частиц в аппарате, согласно рисунку 3, достигается на стенках улиточного ввода газа и на внутренней поверхности цилиндрической стенки. Расчетное распределение объемной концентрации частиц позволяет судить об эффективности аппарата. Следует отметить, что высокая концентрация частиц достигается в непосредственной близости сепарационной зоны. В непосредственной близости от выхлопного патрубка концентрация становится низкой.



***Рисунок 3. Распределение концентрации твердой фазы в осевом сечении аппарата***

Гидродинамический режим работы динамического газопромывателя для частиц с диаметром 20 мкм и объемной концентрации  $5.0e-1$  может считаться оптимальным.

### **Список литературы:**

1. Басов К.А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. — М.: ВНИИМП, 2006. — 188 с.
2. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. — М.: ВНИИМП, 2003. — 272 с.
3. Патент 2339435 РФ, МПК, кл. В01 Д47/06 Динамический газопромыватель.//Р.Р. Усманова. — Оpubл.27.11.2008. Бюл.№ 33.

## СЕКЦИЯ 4

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В РАБОЧЕЙ СТЕНКЕ ЩЕЛЕВОГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

**Кибардин Антон Николаевич**

*аспирант кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ЧГУ,  
г. Череповец*

*E-mail: [anton\\_kibardin@mail.ru](mailto:anton_kibardin@mail.ru)*

**Лукин Сергей Владимирович**

*канд.техн.наук, доцент, профессор ЧГУ, г. Череповец*

*E-mail: [s.v.luk@yandex.ru](mailto:s.v.luk@yandex.ru)*

#### THE CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN THE SLIT MOULD WALL OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE

**Anton Kibardin**

*post-graduate student of "Industrial heat-power engineering" department,  
Cherepovets State University, Cherepovets*

**Sergey Lookin**

*candidate of technical sciences, professor of Cherepovets State University,  
Cherepovets*

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлена инженерная методика расчета теплопередачи в рабочей стенке щелевого кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок, позволяющая достаточно точно учитывать эффект оребрения стенки со стороны охлаждающей воды.

## ABSTRACT

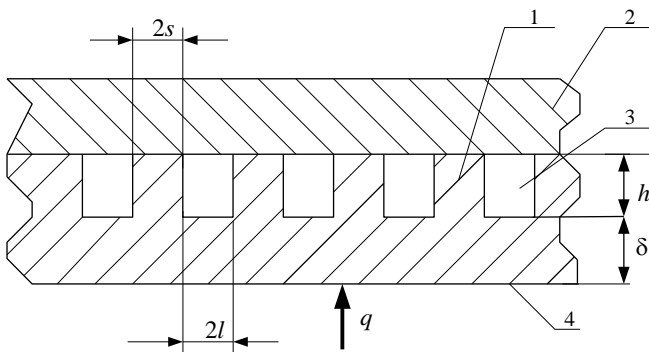
In the paper is presented the engineering method of calculation of heat transfer in the slit mould wall of the continuous casting machine, allowing to take rather exactly account of the wall ribbing effect on the side of cooling water.

**Ключевые слова:** Теплопередача; кристаллизатор; машина непрерывного литья заготовок.

**Key words:** Heat transfer; mould; continuous casting machine.

Современные машины непрерывного литья заготовок часто оборудуют щелевыми кристаллизаторами, в которых охлаждающая вода циркулирует в пазах, расположенных между медной стенкой и чугунным корпусом. В настоящее время отсутствуют достаточно точные инженерные методики расчета теплопередачи в рабочей стенке щелевого кристаллизатора.

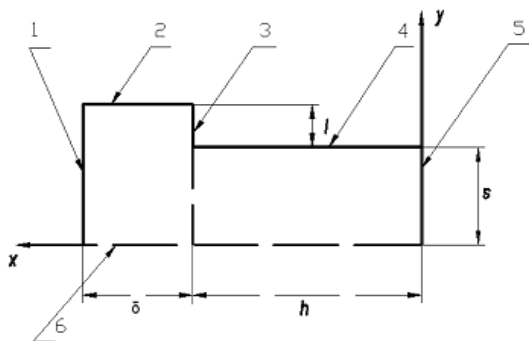
Схема рабочей стенки щелевого кристаллизатора и основные геометрические размеры показаны на рис. 1, где приведены следующие обозначения: 1 — медная плита; 2 — стальная пластина; 3 — прямоугольный паз, заполненный охлаждающей водой; 4 — рабочая поверхность стенки кристаллизатора;  $\delta$  — толщина стенки от рабочей поверхности до основания паза;  $2s$  — расстояние между пазами;  $h$  — глубина паза (длина ребра);  $2l$  — ширина паза (канала);  $q$  — плотность теплового потока, поступающего к рабочей стенке от затвердевающего слитка.



*Рисунок 1. Схема рабочей стенки щелевого кристаллизатора.*



Расчетная схема элемента рабочей стенки щелевого кристаллизатора показана на рис. 2. На рис. 2 показано, что поверхностью 1 рабочая стенка контактирует с отливаемым слитком, а поверхностью 3 и 4 — с охлаждающей водой. Поверхность 5 соприкасается с чугуном корпусом. На поверхностях 2 и 6 выполняется условие геометрической и тепловой симметрии, поэтому здесь теплообмен отсутствует (адиабатические поверхности). Размеры ребра:  $h \times s$ . Размеры основания стенки:  $\delta \times (s+l)$ .



**Рисунок 2. Расчетная схема элемента рабочей стенки.**

Для расчета эффективного коэффициента теплоотдачи от рабочей стенки щелевого кристаллизатора к охлаждающей воде, учитывающего эффект оребрения, можно использовать выражение, полученное в [1]:

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{\alpha(E \cdot h + l)}{s + l}; \quad (1a)$$

где  $E$  — коэффициент эффективности оребрения, определяемый выражением:

$$E = \text{th} \left( (h/s) \sqrt{\alpha \cdot s / \lambda} \right) / \left( (h/s) \sqrt{\alpha \cdot s / \lambda} \right), \quad (16)$$

где  $\alpha$  — обычный коэффициент теплоотдачи от поверхности к охлаждающей воде;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала стенки;

$\delta, s, l, h$  — геометрические размеры рабочей стенки, показанные на рис. 1.

Однако в щелевых кристаллизаторах ребра имеют достаточно большую толщину, поэтому выражение (1) дает существенную погрешность, т. к. получено в предположении одномерности температурного поля в ребрах, что для толстых ребер не выполняется. Получим решение, учитывающее двухмерность температурного поля в ребрах.

Введем избыточную температуру  $\mathcal{G} = t - t_b$ , где  $t$  — температура стенки;  $t_b$  — температура охлаждающей воды, выбранная за начало отсчета. Температурное поле стенки опишется уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Рабочую стенку можно представить состоящей из двух элементов: основания стенки толщиной  $\delta$  и ребра. Ввиду малой толщины задачу расчета теплообмена в основании стенки считаем одномерной. Расчет температурного поля и термического сопротивления здесь не вызывает затруднений. Остановимся на расчете теплообмена в ребре длиной  $h$  и толщиной  $2s$ . Граничные условия будут следующими:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \quad 0 \leq y \leq s; \quad \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad 0 \leq x \leq h; \\ \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y} \Big|_{y=s} &= -(\alpha/\lambda) \cdot \mathcal{G} \Big|_{y=s}, \quad 0 \leq x \leq h; \quad \mathcal{G} \Big|_{x=h} = \mathcal{G}_0, \quad 0 \leq y \leq s, \end{aligned}$$

где  $x, y$  — текущие координаты;

$\mathcal{G}_0$  — избыточная температура у основания ребра.

С учетом граничных условий методом разделения переменных получено решение уравнения (2), описывающее температурное поле в ребре рабочей стенки щелевого кристаллизатора:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}(x, y) &= 2\mathcal{G}_0 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \cos\left(\mu_k \cdot \frac{y}{s}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\mu_k \cdot \frac{x}{s}\right), \quad (3) \\ D_k &= \frac{\sin \mu_k}{\mu_k + \sin \mu_k \cdot \cos \mu_k}. \end{aligned}$$

Коэффициенты  $\mu_k$  находятся из характеристического уравнения:

$$\operatorname{tg}(\mu) = \operatorname{Bi}/\mu, \quad (4)$$

где  $\operatorname{Bi} = \alpha \cdot s/\lambda$  — критерий Био.

Известно, что корни  $\mu_k$  уравнения (4) представляют бесконечную последовательность возрастающих чисел:  $\mu_1 < \mu_2 < \dots < \mu_n < \dots$ . Поэтому ряд в (3) является быстро сходящимся для точек с координатой  $x < h$ .

Плотность теплового потока определяется законом Фурье:

$$q = \lambda \cdot \left| \frac{\partial \vartheta}{\partial n} \right|,$$

где  $n$  — текущая координата. Из выражения (3) получим, что плотность теплового потока в ребре рабочей стенки кристаллизатора в направлении  $x$  в основании ребра равна:

$$q_x(h, y) = 2 \cdot \lambda \cdot \vartheta_0 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k \cdot \mu_k / s}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \cos\left(\mu_k \cdot \frac{y}{s}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\mu_k \cdot \frac{h}{s}\right). \quad (5)$$

Для определения средней плотности теплового потока  $q_x$  в основании ребра функцию (5) необходимо проинтегрировать на отрезке от 0 до  $s$  и разделить на длину этого отрезка  $s$ :

$$\bar{q}_x(h) = \frac{1}{s} \int_0^s q_x(h, y) dy = 2 \cdot \lambda \cdot \vartheta_0 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k / s}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \sin(\mu_k) \cdot \operatorname{sh}(\mu_k \cdot h/s).$$

Тепловой поток, проходящий через половину основания ребра длиной 1 м (Вт/м) определится выражением:

$$q_{lp} = \bar{q}_x(h) \cdot s = 2 \cdot \lambda \cdot \vartheta_0 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \sin(\mu_k) \cdot \operatorname{sh}(\mu_k \cdot h/s). \quad (6)$$

Тепловой поток, проходящий через половину основание паза, определяется выражением теплоотдачи к охлаждающей воде:

$$q_{l0} = \alpha \cdot \vartheta_0 \cdot l. \quad (7)$$

Введем линейное термическое сопротивление ребра рабочей стенки кристаллизатора:

$$R_{lp} = \frac{\mathcal{G}_0}{q_{lp}} = \left\{ 2 \cdot \lambda \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \sin(\mu_k) \cdot \operatorname{sh}(\mu_k \cdot h/s) \right\}^{-1} \quad (8)$$

Линейная плотность теплового потока рабочей стенки с учетом (6), (7) и (8) определяется выражением:

$$q_l = (q_{l0} + q_{lp}) \cdot 2m = \mathcal{G}_0 \cdot (1/R_{lp} + \alpha \cdot l) \cdot 2m, \quad (9)$$

где  $m$  — количество ребер в стенке.

Эффективный коэффициент теплоотдачи от рабочей стенки к охлаждающей воде определится выражением:

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{q_l}{P \cdot \mathcal{G}_0}, \quad (10)$$

где  $P=2m \cdot (s+l)$  — периметр рабочей стенки кристаллизатора.

С учетом (9) и (10) получим выражение для расчета  $\alpha_{\text{эф}}$ :

$$\alpha_{\text{эф}} = (1/R_{lp} + \alpha \cdot l) / (s+l), \quad (11)$$

где величина  $R_{lp}$  определяется выражением (8).

Обычный коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определяется по известным эмпирическим зависимостям. Достаточно точной является формула Петухова [3], полученная при турбулентном течении капельных жидкостей и газов при  $0,5 < \operatorname{Pr} < 200$  и  $4000 < \operatorname{Re} < 10^7$ :

$$\operatorname{Nu} = \frac{\xi}{8} \cdot \frac{\operatorname{Re} \cdot \operatorname{Pr}}{1 + \frac{900}{\operatorname{Re}} + 12,7 \sqrt{\frac{\xi}{8}} \cdot (\operatorname{Pr}^{2/3} - 1)}, \quad (12)$$

где  $\operatorname{Re} = w \cdot d_3 / \nu_B$  — критерий Рейнольдса;

$\operatorname{Nu} = \alpha \cdot d_3 / \lambda_B$  — критерий Нуссельта;

$\operatorname{Pr}$  — число Прандтля для воды;

$\xi$  — коэффициент гидравлического сопротивления;

$w$  — средняя скорость движения воды в охлаждаемых каналах;  
 $d_3$  — эквивалентный диаметр канала;  
 $\nu_b$  — коэффициент кинематической вязкости для воды;  
 $\lambda_b$  — коэффициент теплопроводности для воды.

Величины  $\nu_b$ ,  $\lambda_b$  и  $Pr$  выбираются по средней температуре охлаждающей воды  $t_b$ . Коэффициент  $\xi$  можно рассчитать по формуле [3]:

$$\xi = (0,79 \cdot \ln(Re/8))^{-2}.$$

Эквивалентный диаметр прямоугольного канала определяется выражением:

$$d_3 = \frac{4f}{p} = \frac{2l \cdot h}{l + h},$$

где  $f=2l \cdot 2h$  — площадь сечения канала;

$p=2 \cdot (2l+2h)$  — периметр канала.

Рассмотрим пример. На вертикальной МНЛЗ сталеплавильного производства ЧерМК ОАО «Северсталь» применяется щелевой кристаллизатор со следующими геометрическими размерами рабочей стенки:  $h=0,025$  м;  $l=0,0045$  м;  $s=0,013$  м;  $\delta=0,02$  м. Стенка выполнена из меди с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=385$  Вт/(м·К). Средняя температура охлаждающей воды —  $t_b=30^\circ\text{C}$ . Скорость воды в каналах —  $w=6$  м/с. При таких параметрах воды и размерах канала коэффициент теплоотдачи от стенки канала к воде, рассчитанный по формуле (12), равен  $\alpha=20000$  Вт/(м·К).

Определяем число Био:  $Bi = \alpha \cdot s / \lambda = 20000 \cdot 0,013 / 385 = 0,675$ .

Первые четыре корня характеристического уравнения (4) при этом  $Bi$  [2]:  $\mu_1=0,74$ ;  $\mu_2=3,34$ ;  $\mu_3=6,39$ ;  $\mu_4=9,49$ . Расчет линейного термического сопротивления ребра по формуле (8) дает значение  $R_{lp}=0,00382$  м К/Вт. Бесконечный ряд в (8) является быстросходящимся, и большая точность расчета достигается при использовании первых трех членов ряда. Расчет эффективного коэффициента теплоотдачи от стенки к воде по формуле (11) дает значение  $\alpha_{эф}=20110$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), что ненамного больше, чем обычный коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , несмотря на то, что на 1 м<sup>2</sup> плоской поверхности рабочей стенки приходится 1,69 м<sup>2</sup> оребренной поверхности, взаимодействующей с водой. Это объясняется достаточно низким коэффициентом эффективности оребрения  $E$ , который, рассчитанный по формуле (16), в данном примере равняется

0,59. Более точно величину  $E$  можно рассчитать в рамках разработанной инженерной методики по выражению:

$$E = \frac{q_{lp}}{\alpha \cdot G_0 \cdot h} = 2 \cdot \left( \frac{\lambda}{\alpha \cdot h} \right) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{D_k}{\operatorname{ch}(\mu_k \cdot h/s)} \cdot \sin(\mu_k) \cdot \operatorname{sh}(\mu_k \cdot h/s). \quad (13)$$

Формула (13) дает для данного примера  $E=0,52$ , т. е. существенно меньше, чем формула (16). Для сравнения известной инженерной методики (формулы (1а) и (16)) и разработанной инженерной методики (формулы (8) и (11)), был проведен численный расчет теплопередачи через рабочую стенку щелевого кристаллизатора при указанных условиях. Численный расчет позволяет учесть двухмерность температурного поля не только в ребре, но также в основании рабочей стенки, т. е. является более точным. Было получено, что численный расчет дает  $\alpha_{\text{эф}} = 19800$  Вт/(м·К), известная инженерная методика –  $\alpha_{\text{эф}}=21840$  Вт/(м·К), разработанная инженерная методика –  $\alpha_{\text{эф}}=20110$  Вт/(м·К). Таким образом,  $\alpha_{\text{эф}}$ , полученный по известной инженерной методике, на 10,2 % превышает  $\alpha_{\text{эф}}$ , полученный численным методом. Значение  $\alpha_{\text{эф}}$ , полученное по разработанной инженерной методике, лишь на 1,5 % превышает  $\alpha_{\text{эф}}$ , полученное численно.

Таким образом, разработанная инженерная методика позволяет с хорошей точностью рассчитывать  $\alpha_{\text{эф}}$  на основе выражения (11). Инженерный расчет теплопередачи в рабочей стенке щелевого кристаллизатора проводится так же, как для плоской стенки толщиной  $\delta$ . Если известна плотность теплового потока  $q$ , проходящего через рабочую стенку кристаллизатора, то температура поверхности основания канала, заполненного водой, определяется выражением:

$$t_{\text{осн. кан}} = t_{\text{в}} + q/\alpha_{\text{эф}}. \quad (14а)$$

Температуру рабочей поверхности стенки, контактирующей со слябом, можно оценить по выражению:

$$t_{\text{раб. пов}} = t_{\text{осн. кан}} + q \cdot \delta/\lambda = t_{\text{в}} + q \cdot (\delta/\lambda + 1/\alpha_{\text{эф}}). \quad (14б)$$

Выражения (14) позволяют достаточно точно рассчитывать  $t_{\text{осн. кан}}$  и  $t_{\text{раб. пов}}$ , если плотность теплового потока  $q$  незначительно изменяется по высоте рабочей стенки кристаллизатора. В действительности,

величина  $q$  быстро изменяется в верхней части кристаллизатора, что приводит к перетеканию теплоты вдоль рабочей стенки, и действительные температуры  $t_{\text{осн.кан}}$  и  $t_{\text{раб.пов}}$  получаются несколько другими, чем дают формулы (14). В верхней части кристаллизатора действительные температуры  $t_{\text{осн.кан}}$  и  $t_{\text{раб.пов}}$  будут меньше, чем рассчитанные по формулам (14), а в нижней части кристаллизатора — несколько больше. Так как надежность работы кристаллизатора во многом зависит от температур  $t_{\text{осн.кан}}$  и  $t_{\text{раб.пов}}$  на уровне мениска жидкого металла, где плотность теплового потока  $q$  является максимальной, то определение величин  $t_{\text{осн.кан}}$  и  $t_{\text{раб.пов}}$  по формулам (14) дает некоторый запас при расчетах надежной работы кристаллизатора.

**Выводы:** Представлена инженерная методика расчета теплопередачи в рабочей стенке щелевого кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок, позволяющая достаточно точно учитывать эффект оребрения рабочей стенки со стороны охлаждающей воды.

### Список литературы:

1. Калягин Ю.А., Шестаков Н.И., Манько О.В, Лукин С.В. Исследование теплообмена в кристаллизаторе МНЛЗ с круглыми щелевыми каналами // Заготовительные производства в машиностроении. — 2004. — № 12. — С. 29—31.
2. Лыков, А.В. Теплообмен: Справочник. — М.: Энергия, 1978. — 480 с.
3. Петухов Б.С., Поляков А.Ф. Теплообмен при смешанной турбулентной конвекции. — М.: Наука, 1986. — 191 с.

# **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЧАСТОТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСА**

***Костин Владимир Николаевич***

*канд. техн. наук, доцент СПбГТУ, г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [kostin\\_vn@mail.ru](mailto:kostin_vn@mail.ru)*

***Кравченко Илья Владимирович***

*аспирант СПбГТУ, г. Санкт-Петербург*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC FREQUENCY DIVIDING POWER MEGAPOLIS**

***Vladimir Kostin***

*Ph.D., Associate Professor of St. Petersburg State Mining University,  
St. Petersburg*

***Ilya Kravchenko***

*St. Petersburg State Mining University graduate student, St. Petersburg*

### **АННОТАЦИЯ**

Для повышения эффективности действия частотной делительной автоматики системы электроснабжения мегаполиса необходимы достоверные данные о нагрузках района потенциального выделения на текущий момент времени. Предложена аппроксимация сплайнами результатов контрольных замеров нагрузки, осуществляемых ежегодно в июне и декабре. Результаты промежуточных замеров нагрузки на одной из подстанций энергосистемы Санкт-Петербурга показали удовлетворительное совпадение с результатами аппроксимации.

### **ABSTRACT**

To improve the efficiency of the frequency dividing power system automation metropolis requires reliable data on the load area of potential allocation for the current time. Proposed approximation by splines of the results of control measurements of the load carried out annually in June and



December. The results of measurements of the intermediate load on one of the substations of the power supply system of St. Petersburg showed good agreement with the results approximated.

**Ключевые слова:** эффективность частотной делительной автоматики; автоматическая частотная разгрузка; контрольные замеры нагрузки подстанций; аппроксимация сплайнами результатов замеров.

**Keywords:** efficiency of the frequency dividing automation; auto-cal frequency discharge; control measurements of load substations; the approximation of the results of measurements.

Системные аварии в Москве (2005 г.) и Санкт-Петербурге (2010 г.) нанесли большой экономический, политический и общественно-социальный ущерб и обусловили необходимость разработки мероприятий по совершенствованию комплексов противоаварийной автоматики, в том числе частотной делительной автоматики (ЧДА) и автоматической частотной разгрузки (АЧР) [2].

Для обеспечения эффективного действия ЧДА при аварийном выделении энергорайона мегаполиса необходима следующая информация: схема сети района, величина генерации электростанций района, величина нагрузки потенциально выделяемого района, объём нагрузки, подведенной под АЧР.

В настоящее время схема сети и генерация электростанций района потенциального выделения осуществляются достаточно точно с помощью существующей системы телеизмерений (ТИ). Оценка же величины нагрузки района и объема нагрузки, подведенной под АЧР, при существующем в энергосистемах мегаполисов недостаточном уровне развития системы ТИ осуществляется, как правило, по данным контрольных замеров, выполняемых два раза в год.

Следует отметить, что в условиях мегаполиса количество подстанций и комплексов АЧР, реализованных на этих подстанциях для районов, входящих в зону действия ЧДА, может достигать сотни и более. В этих условиях для повышения эффективности ЧДА необходимо проведение многочисленных расчётов по определению требуемого баланса генерации и потребления. Поэтому достоверная оценка величины нагрузки и ее объема, подведенного под АЧР в районе действия ЧДА, является весьма актуальной и трудоёмкой задачей, которая должна решаться в темпе реального времени. Автоматизация этого процесса обеспечит принятие обоснованных решений по выбору направления действия ЧДА и повышение надежности электроснабжения мегаполиса.

В настоящее время в Филиале ОАО «СО ЕЭС» Ленинградское РДУ осуществляется разработка программного комплекса (ПК) «Система контроля эффективности действия ЧДА» для мониторинга всех районов потенциального выделения в энергосистеме Санкт-Петербурга и Ленинградской области [3].

Рассмотрим основные принципы организации мониторинга режимных параметров, имеющимися средствами контроля текущей информации: оперативно-информационным комплексом (ОИК), результатами контрольных замеров нагрузки, осуществляемыми ежегодно в июне и декабре.

Величина мощности генераторов, остающихся в выделившемся районе после действия ЧДА, будет использоваться в ПК «Система контроля эффективности действия ЧДА», благодаря созданию интерфейса для одной из подпрограмм ОИК.

Определение текущей нагрузки района может осуществляться с помощью ТИ перетоков активной мощности по элементам связи района потенциального выделения с энергосистемой. Нагрузка этого района определится как:

$$P_{\text{нагр}}(t) = \sum P_{\text{Г}}(t) \pm \sum P_{\text{С}}(t), \quad (1)$$

где  $\sum P_{\text{Г}}(t)$  — суммарная генерация электростанций района;

$\sum P_{\text{С}}(t)$  — суммарная мощность, поступающая в район из системы или поступающая из района в систему.

Для районов, не оснащённых средствами ТИ, будут использоваться данные о нагрузках, полученные по результатам контрольных замеров. С этой целью для каждой подстанции района формируются массивы значений нагрузок  $P_{\text{нагр}i}$  и объема нагрузки, подведенной под АЧР  $P_{\text{АЧР}i}$  (табл. 1).

*Таблица 1*

**Массивы значений нагрузок для подстанции**

Оперативное название подстанции							
Дата контрольного замера							
Час	1	2	3	...	...	23	24
$P_{\text{нагр}i}$ МВт	$P_{\text{нагр}1}$	$P_{\text{нагр}2}$	$P_{\text{нагр}3}$	...	...	$P_{\text{нагр}23}$	$P_{\text{нагр}24}$
$P_{\text{АЧР}i}$ МВт	$P_{\text{АЧР}1}$	$P_{\text{АЧР}2}$	$P_{\text{АЧР}3}$	...	...	$P_{\text{АЧР}23}$	$P_{\text{АЧР}24}$

На базе таких массивов определяется нагрузка района потенциального выделения  $P_{\text{нагр}}$  и нагрузка, подведенная под АЧР  $P_{\text{нагр}}$ . Эта информация, справедливая только для дней контрольных

замеров, является единственной для определения величины нагрузки района  $P_{\text{нагр}}(t)$  и  $P_{\text{АЧР}}(t)$  на произвольный (текущий или перспективный) момент времени  $t$ . На основании этих данных и текущей генерации района  $\sum P_{\text{Г}}(t)$  делается вывод о сбалансированности района потенциального выделения и необходимости ввода-вывода некоторых комплектов ЧДА на текущий момент времени  $t$ .

Очевидно, что данные контрольных замеров нагрузки, осуществляемых два раза в год, могут существенно отличаться от режима нагрузки текущего момента времени  $t$  и снизить эффективность действия ЧДА. Поэтому при определении нагрузки в произвольный текущий (или перспективный) момент времени  $t$  возникает задача интерполяции результатов контрольных замеров.

В настоящей работе предлагается интерполяция сплайнами результатов контрольных замеров нагрузки. Это быстрый, эффективный и устойчивый способ интерполяции функций, являющийся одной из альтернатив полиномиальной интерполяции [1].

Для получения сплайн-интерполяции используется Maple-функция

$$\text{spline}(X, Y, \text{var}, d), \quad (2)$$

где  $X$  и  $Y$  — одномерные векторы одинакового размера, несущие значения координат узловых точек исходной функции;

$\text{var}$  — имя переменной, относительно которой вычисляется сплайн-функция;

$d$  — параметр, задающий вид сплайна (порядок полинома).

Наиболее распространенной является сплайн-интерполяция на основе полиномов третьего порядка ( $d=3$ ). Коэффициенты полинома подбираются таким образом, чтобы выполнялись требования непрерывности функции и, разумеется, прохождение через предписанные точки. Дополнительным требованием является непрерывность высших производных.

Благодаря плавности сплайн-кривых они хорошо описывают функции, представленные любым числом  $N$  узловых точек, поскольку порядок полиномов от этого числа не зависит. Системы линейных уравнений, которые требуется решать для построения сплайнов, хорошо обусловлены и даже при очень больших  $N$  вычислительная схема не теряет устойчивость.

Таким образом, сплайновая функция представляет собой кусочную функцию, определяемую на каждом отдельном интервале.

При этом на каждом участке такая функция описывается отдельным полиномом

$$\varphi(t) = a_i + b_i(t - t_{i-1}) + c_i(t - t_{i-1})^2 + d_i(t - t_{i-1})^3, \quad t_{i-1} \leq t \leq t_i. \quad (3)$$

Коэффициенты полинома  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$  на каждом интервале определяются из условий в узлах, в соответствии с которыми многочлен должен принимать заданные значения функции

$$y_{i-1} = \varphi(t_{i-1}) = a_i, \quad 1 \leq i \leq N, \quad (4)$$

$$y_i = \varphi(t_i) = a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3, \quad h_i = t_i - t_{i-1}. \quad (5)$$

Число этих уравнений вдвое меньше числа неизвестных коэффициентов, поэтому для определенности задачи вводятся дополнительные условия. Для их получения вычисляются первая и вторая производные многочлена (3)

$$\varphi'(t) = b_i + 2c_i(t - t_{i-1}) + 3d_i(t - t_{i-1})^2, \quad (6)$$

$$\varphi''(t) = 2c_i + 6d_i(t - t_{i-1}) \quad \text{при } t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad (7)$$

и вводится требование непрерывности этих производных во всех точках, включая узлы. Приравнявая в узле  $t_i$  правые и левые пределы производных, получим

$$b_{i+1} = b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2, \quad 1 \leq i \leq N-1, \quad (8)$$

$$c_{i+1} = c_i + 3d_i h_i, \quad 1 \leq i \leq N-1, \quad (9)$$

Недостающие два условия можно получить из естественного предположения о нулевой кривизне функций на концах.

$$\frac{1}{2} \varphi''(t_0) = c_1 = 0, \quad (10)$$

$$\frac{1}{2} \varphi''(t_N) = c_N + 3d_N h_N = 0. \quad (11)$$

Уравнения (8—11) образуют систему линейных уравнений для определения  $4N$  неизвестных коэффициентов, которая может быть решена, например, методом Гаусса. Однако эту систему сначала целесообразно привести к специальному виду. Уравнение (4) позволяет определить все коэффициенты  $a_i$ . Из уравнений (9—11) следует, что

$$d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \text{ при } 1 \leq i \leq N-1, \quad (12)$$

$$d_N = -\frac{c_N}{3h_N}. \quad (13)$$

После подстановки (12) в (5) и исключения отсюда  $a_i = y_{i-1}$ , получим

$$b_i = \left[ \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} \right] - \frac{1}{2} h_i (c_{i+1} + 2c_i), \quad 1 \leq i \leq N-1, \quad (14)$$

$$b_N = \left[ \frac{y_N - y_{N-1}}{h_N} \right] - \frac{2}{3} h_N c_N. \quad (15)$$

Исключая из (8) с помощью (14) величины  $b_i$  и  $b_{i+1}$  и принимая  $d_i$  по (12), получим систему линейных уравнений для  $c_i$

$$c_i = 0, \quad (16)$$

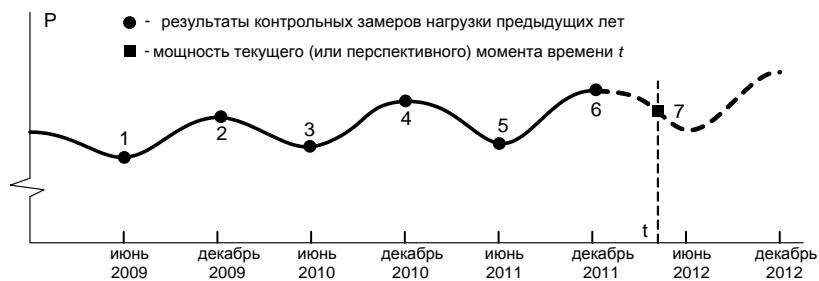
$$h_{i-1} c_{i-1} + 2(h_{i-1} + h_i) c_i + h_i c_{i+1} = 3 \left[ \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{y_{i-1} - y_{i-2}}{h_{i-1}} \right] \quad (17)$$

при  $2 < i < N$ ,

$$c_{N+1} = 0. \quad (18)$$

После нахождения значений  $c_i$  остальные коэффициенты вычисляются по выражениям (4, 5, 12, 13, 14 и 15).

Использование указанного алгоритма к расчёту нагрузки района потенциального выделения на текущий (или перспективный) момент времени  $t$  иллюстрируется на рис. 1.



**Рисунок 1. Иллюстрация аппроксимации сплайнами результатов контрольных замеров**

Точками 1, 2, ... 6 отмечены максимальные нагрузки некоторой подстанции июньского и декабрьского дней 2009—2011 гг. Сплошной линией показана сплайн-интерполяция результатов замеров нагрузки за указанные годы. Пунктирная линия показывает перспективное изменение нагрузки в 2012 г. Эта кривая принимается по предшествующему 2011 году, однако начало кривой лежит в узле 6, расположенном выше узла 4, что позволяет учесть годовой прирост нагрузки. Квадратом отмечена вероятная максимальная мощность нагрузки текущего момента времени  $t$ .

Результаты внеочередных замеров нагрузки на одной из подстанций системы электроснабжения Санкт-Петербурга, выполненные в октябре 2011 года, показали, что отличие максимальной измеренной нагрузки подстанции от нагрузки, полученной интерполяцией сплайнами, не превысило 5 %. При этом отличие результатов замеров летнего и зимнего максимумов нагрузки на этой подстанции составило более 40 %.

#### **Выводы:**

1. Для эффективного действия ЧДА необходимы достоверные данные по нагрузкам района потенциального выделения на текущий и перспективный моменты времени. Результаты контрольных замеров нагрузки, осуществляемых ежегодно в июне и декабре, могут существенно отличаться от величин нагрузок текущего момента времени и снизить эффективность действия ЧДА.

2. Предложена аппроксимация сплайнами результатов ежегодных контрольных замеров нагрузки, позволяющая более точно прогнозировать величину текущей и перспективной нагрузки района потенциального выделения и повысить эффективность действия ЧДА.

### **Список литературы:**

1. Калиткин Н.Н. Численные методы. М., Наука, 1978. — 513 с.
2. Отчет по расследованию аварии в ЕЭС России, произошедшей 25.05.2005 // РАО «ЕЭС России». — 2005.
3. Принципы построения автоматизированной системы контроля эффективности действия ЧДА / И.В. Кравченко и [др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. — 2011. — № 4 (135). — С. 94—99.

## **ИННОВАЦИОННАЯ ЗЭ ТЕХНОЛОГИЯ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

*Султанов Оразгельды Нуревич*

*кандидат технических наук,*

*докторант, Институт «Гюн» Академии наук Туркменистана*

*E-mail: [sonita\\_2012@mail.ru](mailto:sonita_2012@mail.ru)*

## **INNOVATIVE ‘ZE’ TECHNOLOGY OF DEHYDRATION OF NATURAL GAS**

*Orazgeldy Sultanov*

*Candidate of Science,*

*Ph.D. student,*

*Institute “Gun” of the Turkmen Academy of Sciences*

### **АННОТАЦИЯ**

Целью данной работы является разработка инновационной ЗЭ (экономичной, экологичной и энергосберегающей) технологии осушки природного газа. Изобретена новый — теплофизический метод осушки газа. Приведены основные преимущества, предлагаемой технологии.

## ANNOTATION

The aim of this work is the development of an innovative '3E' technology of natural gas dehydration (economical, ecological and energy-saving). A new method was invented: thermophysical method of gas dehydration. Main advantages of the proposed technology are enumerated.

**Ключевые слова:** инновационная технология; экономичность; экологичность; энергосбережение; теплофизический.

**Key words:** innovative technology; economy; environmental sustainability; energy saving; thermophysical.

По своему классификационному признаку методы осушки газов подразделяются на три основные группы [1, с. 2]:

### 1. Физический.

В основе лежит искусственное охлаждение газов, компримирование их, а также сочетание компримирования с охлаждением. Осуществляются они следующими способами:

- вымораживанием влаги из газа с использованием низких температур атмосферы;
- охлаждением газа, с дополнительным компримированием и без него;
- инъекцией химических веществ в газовый поток промысловых газосборных трубопроводов с последующим улавливанием продуктов гидратации на сепарационных и центральных установках;
- низкотемпературной сепарацией (то есть охлаждением природного газа с последующим разделением газоконденсатной смеси в сепараторе на жидкую и газовую фазы).

### 2. Химический.

Химическая реакция между водой и химическими веществами может быть столь полной, что образующиеся при этом продукты гидратации будут иметь чрезвычайно низкую упругость водяных паров. Имеются химические реагенты, обеспечивающие практически полную осушку газа. Однако эти реагенты очень трудно или вообще невозможно регенерировать, что делает их непригодными для использования в качестве промышленных осушителей. Они широко применяются при лабораторном определении влажности газов.

### 3. Физико-химический.

Основаны на поглощении влаги различными поглотителями (сорбентами) и делятся на две основные группы: адсорбция



(с применением твердых сорбентов) и абсорбция (с применением жидких сорбентов).

Добываемый природный газ, наряду с углеводородами, содержит углекислый газ, пары влаги, количество которой зависит от состава газа, давления и температуры, и другие примеси. От этих примесей газ (главным образом, метан) должен быть осушен и очищен при транспортировке перед подачей потребителю в качестве топлива или сырья для переработки в химические продукты. Адсорбционный способ подготовки газа в практике газодобычи как отечественной, так и зарубежной, нашел широкое применение и имеет ряд преимуществ перед другими, так же часто используемыми способами промышленной подготовки газа: низкотемпературной сепарацией, абсорбцией гликолями. Способы адсорбционной осушки газа силикагелем, с последующей регенерацией нагретым газом и охлаждением не нагретым газом при давлении равном, давлению адсорбции [2, с. 3].

При адсорбционной осушке природного газа, в качестве осушителя используются также дорогостоящие жидкие сорбенты: диэтиленгликоль (ДЭГ), триэтиленгликоль (ТЭГ) и др. При адсорбционной осушке природного газа в качестве осушителя используется твердые сорбенты: цеолит, алюминий и др.

Наряду с этим, установки адсорбционного типа имеют ряд недостатков, к которым следует отнести высокую металлоемкость, цикличность технологических процессов и сравнительно большое гидравлическое сопротивление в технологической линии осушки.

Недостатком выше перечисленных методов является высокая стоимость проводимого технологического процесса, а также эксплуатационные затраты при применении этого способа будут выше, чем при новом способе, научная новизна которой подтверждена патентом Туркменистана.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому техническому решению является физический способ низкотемпературной сепарацией (т. е. охлаждением природного газа с последующим разделением газоконденсатной смеси в сепараторе на жидкую и газовую фазы).

Поставленная задача заключается в том, что осушку природного газа производят теплофизическим методом, при этом, при нагреве газоконденсатной смеси, используют вторичное тепло масляного теплообменника, а выделяемый водород применяют в качестве топлива.

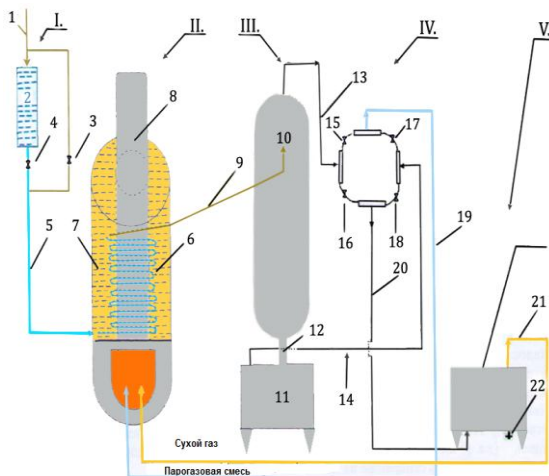
Этот способ обезвоживания природного газа, поможет исключить использование дорогостоящих ненадежных в эксплуатации и

требующих дополнительного оборудования для регенерации адсорбентов и абсорбентов, а также упростить конструкции и эксплуатацию установок.

Технический результат при использовании настоящего изобретения состоит в организации простой и надежной осушки природного газа, в стабилизации состава газа после осушки по содержанию паров воды, в удешевлении процесса на используемой лабораторной установке, расширении его функциональных возможностей, без применения ингибиторов гидратообразования и использования, выделяемого из влаги, водорода в качестве топлива для печи-теплообменника, а также снижение эксплуатационных затрат.

Способ осуществляется на лабораторном стенде, при подаче природного газа в печь-теплообменник, в которой влага, имеющаяся в составе природного газа, испаряется при высокой температуре ( $110^{\circ}\text{C}$ — $150^{\circ}\text{C}$ ), а за счет теплообмена с техническим маслом, находящимся в печи - теплообменнике с более высокой температурой ( $290^{\circ}\text{C}$ ) из состава влаги выделяется водород, который используют как топливо для печи — теплообменника.

Реализацию осуществления предлагаемого способа можно проследить на принципиальной технологической схеме установки для лабораторных исследований осушки природного газа теплофизическим методом.



**Рисунок 1** Принципиальная схема лабораторной установки осушки природного газа теплофизическим методом.

Установка для лабораторных исследований осушки природного газа теплофизическим методом состоит из 5-ти блоков:

I. Увлажнитель. Он предназначен для увлажнения сухого природного газа.

II. Печь-теплообменник — предназначена для нагревания до температуры 110°C — 120°C увлажнённого природного газа.

III. Дегидратор предназначен для разделения парогазовой смеси на два потока: сухой газ и парогазовую смесь.

IV. Комплекс задвижек предназначен для регулирования подачи газа с верхней и с нижней частей дегидратора поочерёдно в печь-теплообменник и конденсатор-теплообменник.

V. Конденсатор-теплообменник предназначен для конденсации нагретых паров, в входящих в состав природного газа, за счёт теплообмена с водой и получения осушенного природного газа с необходимой температурой.

На схеме приняты следующие обозначения: 1 — труба для подачи в установку природного газа; 2 — ёмкость, заполненная водой; 3 и 4 — задвижки (краны) установленные на линиях соответствующих трубопроводов 3 и 4; 5 — труба, служащая для подачи в печь увлажненного газа; 6 — змеевик (спираль); 7 — ёмкость печи-теплообменника, заполненная техническим маслом; 8 — труба, служащая для выброса продуктов сгорания из печи-теплообменника; 9 — труба, для подачи парогазовой смеси из печи в дегидратор; 10, 11 — верхняя и нижняя части дегидратора; 12 — дроссель; 13, 14 — трубы для подачи сухого газа и парогазовой смеси к комплексу задвижек; 15—18 — задвижки, входящие в комплекс задвижек; 19, 20 — трубы для подачи сухого газа и парогазовой смеси в печь-теплообменник и конденсатор-теплообменник; 21 — труба для подачи сухого газа в печь-теплообменник; 22 — кран для выпуска конденсата (воды).

Способ осушки природного газа осуществляется следующим образом [2, с. 6]:

Для создания экспериментальной парогазовой составляющей, природный исходный газ по трубопроводам 1 и 3 через задвижку 3 поступает в трубопровод 5. Одновременно, из ёмкости 2 через кран 4, дозировано, в трубу 5 подаётся вода, при этом образуется парогазовая смесь нужной концентрации, необходимой для лабораторной проверки. Патрубки трубы 5, соединяют выходы трубы 4, соединяющую его с ёмкостью 2, и трубы 3 со змеевиком 6, по которой далее газ поступает на осушку в печь — теплообменник (ПТ), состоящую из ёмкости 7 объёмом 50 литров, заполненную

техническим маслом, внутри которой расположен змеевик 6. В змеевике 6, под воздействием температуры нагретого до 290°С технического масла, образуется согретая до температуры 110—150°С парогазовая смесь, которая по трубе 9 поступает в среднюю часть дегидрататора (ДЭГ). В ДЭГ происходит разделение парогазовой смеси на два потока собираемых в верхней 10 и нижней 11 частях ДЭГ. Верхний поток, обладает меньшей плотностью, чем нижний, содержит водород и пары воды, в то время как нижний поток имеет только осушенную метановую фракцию. В результате, исходная парогазовая смесь в ДЭГ разделяется на два потока: верхняя парогазовая смесь содержит водород, используемый в качестве горючего для ПТ, нижняя осушенная фракция подвергается исследованию на предмет наличия в осушенном газе количества влаги. Регулирование дальнейшей подачи полученных в дегидрататоре смесей производится с помощью комплекса задвижек (КЗ) по приведённым выше вариантам, при этом водород поступает в виде топлива в ПТ. В конденсаторе-теплообменнике (КТ) происходит конденсация нагретых паров в составе природного газа за счёт теплообмена с водой и при этом получают осушенный природный газ с необходимой температурой.

Пример лабораторного исследования.

Работа опытной установки осуществлялась при следующих исходных параметрах:

- давление природного газа на входе  $P_{вх}=1,5$  МПа;
- начальная температура на входе  $T=+12^{\circ}\text{C}$ ;
- показатель влажности на входе с точкой росы  $+8^{\circ}\text{C}$ ;
- расход газа на входе  $q=160$  м<sup>3</sup>/час.

Газ поступает в вертикальный сепаратор (увлажнитель), где происходит его увлажнение. После чего, увлажненный природный газ подают в печь-теплообменник (ПТ), заполненную техническим маслом в объёме 50 литров, которое находится в статическом состоянии, где его нагревают до температуры 110°С—115°С. В результате теплообмена с техническим маслом (температура  $T=290^{\circ}\text{C}$ ), влага, содержащаяся в составе природного газа, испаряется с выделением водорода и кислорода. Далее природный газ из печи-теплообменника поступает в дегидрататор (ДЭГ).

На выходе из дегидрататора газ имел следующие параметры:

- давление газа в верхней части ДЭГ:  $P_{\text{верх}}=1,35$  МПа;
- температура в верхней части ДЭГ:  $T_{\text{верх}}=120^{\circ}\text{C}$ ;
- давление газа в нижней части ДЭГ:  $P_{\text{низ}}=1,2$  МПа;
- температура в нижней части ДЭГ:  $T_{\text{низ}}=110^{\circ}\text{C}$ .

При этом, при поступлении газа в дегидратор, в верхней его части, образуется парогазовая смесь, а в нижней части находится осушенный газ с точкой росы:  $-4^{\circ}\text{C}$ . Измерение производили прибором «Харьков — 1». Расход газа определяли расчётным путём [2, с. 6].

Технологический режим работы сушильной установки новой конструкции работающей по предлагаемой инновационной технологии характеризуется определенным набором параметров основными из которых являются: количество подогреваемого газа, его входные и выходные характеристики (давление, температура, влажность) [1, с. 150].

Ниже в таблице 1. представлен действующий, модернизированный по [1] и предлагаемый к внедрению технологический регламент.

*Таблица 1.*

**Технологический регламент сушильной установки осушки природного газа теплофизическим методом.**

<b>Параметры работы адсорбера (дегидратора)</b>	<b>Ед. изм.</b>	<b>Действующий вариант</b>	<b>Модернизированный вариант</b>	<b>Предлагаемый вариант</b>
Масса адсорбента	кг	193х2	193х2	нет
Число адсорберов (дегидраторов)	шт	2	2	1
Продолжительность работы адсорберов (дегидратора)	мес.	12	60	120
Расход газа в адс-ре	$\text{м}^3/\text{ч}$	468	468	160
Срок службы адс-та (дегидратора)	лет	1	5	10
Темп-ра адсорбции ( в дегидраторере)	$^{\circ}\text{C}$	15—35	15—35	110—150
Давление адсорбции (газа)	$\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$	25—53	25—53	15—60
Температура входа газа регенерации в адсорбер (газа)	$^{\circ}\text{C}$	нет	200	110—150
Расход газа регенерации (газа)	$\text{м}^3/\text{ч}$	нет	43,5	160
Время горячей регенерации (газа)	ч	нет	8	непрерывно
Время охлаждения адсорбента (газа)	ч	нет	4	нет

По решению созданной комиссии управления «Лебапгаздобыча» ГК «Туркменгаз», в составе 9 человек, рассмотрен и одобрен для внедрения на производство. Внедрение «Технологического регламента сушильной установки осушки природного газа теплофизическим методом» позволяет управлять эффективно процессом осушки и очистки газа, снизить энергетические и капитальные затраты, позволит улучшить экологическую обстановку окружающей среды не нарушая требования Государственного стандарта.

В работе предлагается осуществить глубокую очистку природного газа комплексно, т. е. осушку производить теплофизическим методом, а очистку от серосодержащих и углекислых газов производить физико-теплофизическим методом. Также мы предлагаем не сжигать «углекислые газы» в печи, а закачивать их в освободившиеся пласты. Это даст следующие преимущества по сравнению с традиционными методами [3, с. 328]:

- простота конструкции установки;
- отказ от дорогостоящих сорбентов (ДЭГ, ТЭГ, амин, и др.);
- надежность и широкие возможности очистительного процесса;
- обеспечение экономичной и энергосберегающей технологии;
- обеспечение экологической чистоты окружающей среды.

### **Список литературы:**

1. Скосарь Ю.Г. Совершенствование технологии глубокой осушки природного газа. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М.: Российский Государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007.— 228 с.
2. Султанов О.Н., Рахманов М.А. Способ осушки природного газа теплофизическим методом. (Патент № 500, 11.11.2011). Ашхабад, 2011. — 7 с.
3. Султанов О.Н. Один из путей решения экологической задачи на установке получения сжиженного газа. // Материалы Международной научной конференции. Ашхабад, 2012. — С. 328.

## СЕКЦИЯ 5

### ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОДАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОДАЧЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА БУРОВОГО СТАНКА

**Шигин Андрей Олегович**

*канд. техн. наук, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
E-mail: [shigin27@rambler.ru](mailto:shigin27@rambler.ru)*

**Гилев Анатолий Владимирович**

*д-р техн. наук, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
E-mail: [anatoliy.gilev@gmail.com](mailto:anatoliy.gilev@gmail.com)*

**Шигина Анна Александровна**

*соискатель, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

#### THE FEASIBILITY STUDY ON THE ROTARY SUBMITTING MECHANISM WITH ELECTROMAGNETIC GIVING OF WORKING BODY OF THE DRILLING RIG

**Shigin Andrey Olegovich**

*cand. tech. sciences, Siberian federal university, Krasnoyarsk*

**Gilev Anatoliy Vladimirovich**

*doctor tech. sciences, Siberian federal university, Krasnoyarsk*

**Shigina Anna Aleksandrovna**

*Siberian federal university, Krasnoyarsk*

*НИР выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 г.г.*

### **АННОТАЦИЯ**

Оценка напряженного состояния опор шарошечных долот при бурении горных пород со сложной структурой показывает их низкий расчетный ресурс. Для увеличения ресурса, разработан адаптивный вращательно-подающий механизм и лабораторный стенд для исследования механических его характеристик при различных режимах работы. Произведен расчет ориентировочной потребляемой мощности двигателя. Сделаны выводы об эффективности применения линейного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором в качестве привода подачи при бурении сложноструктурных горных массивов.

### **ABSTRACT**

The assessment of a tension of support of roller bit chisels when drilling rocks with difficult structure shows their low settlement resource. For increase in a resource, the adaptive rotary submitting mechanism and the laboratory stand is developed for research of its mechanical characteristics at various operating modes. It is settled an invoice rough power consumption of the engine. Conclusions are drawn on efficiency of use of the linear three-phase asynchronous engine with a massive rotor in quality of a drive of giving when drilling a rocks with difficult structure.

**Ключевые слова:** Бурение сложноструктурных массивов; напряженное состояние шарошечных долот; максимальный ресурс; электромагнитный привод подачи; асинхронный двигатель

**Keywords:** Drilling of rocks with difficult structure; tension of roller bit chisels; maximum resource; electromagnetic drive of giving; asynchronous engine

В настоящее время в горной промышленности применяются буровые станки с различными типами вращательно-подающих механизмов. Их особенности характеризуются величиной усилия подачи, частотой вращения бурового става и др. Но при бурении сложноструктурных массивов горных пород, имеющих колебание физико-механических свойств по глубине, часто возникают значительные ударные нагрузки и вибрация, результатом которых является увеличение циклических напряжений во всем буровом органе. При этом 80 % случаев отказов приходится на разрушение опор качения шарошек буровых долот [9]. Часто из анализа наработок



на отказ шарошечных долот следует вывод о значительном снижении их стойкости (до 2-х раз) в случае бурения породы со сложной структурой.

В конструкции современных шарошечных долот, имеющих опоры качения часто применяются подшипники по схеме ролик-шарик-ролик. Предел прочности сталей тел качения составляет 1900—2300 МПа и выше. Для получения высших показателей необходимо осуществлять термическую обработку с большой точностью в температурах и времени выдержки [1]. Расчеты показывают, что напряжение в телах качения при равномерном нагружении 1400—1650 МПа. Но при значительных колебаниях физико-механических свойств породы доходит до 2250 МПа и выше.

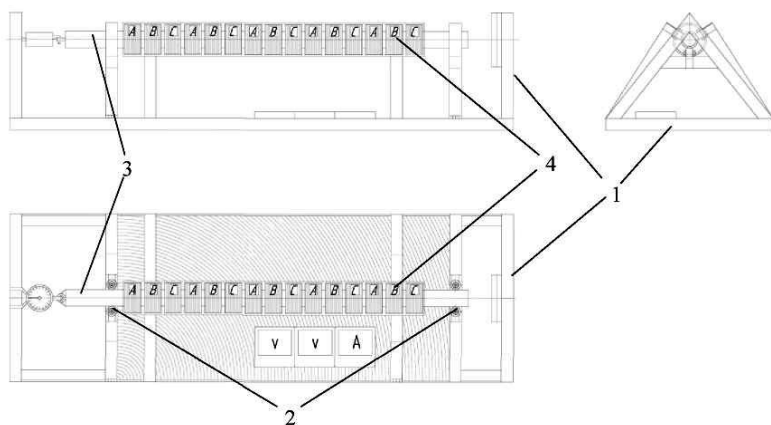
Для приближения ресурса шарошечных долот к максимально возможному, имеющему место при бурении однородной породы, необходимо применение адаптивного вращательно-подающего механизма [4, 8]. Он позволит использовать узкий промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала.

Отечественные станки шарошечного бурения имеют в системе подачи нерегулируемые гидроприводы [2]. И при изменении свойств горной породы исключить внезапную ударную нагрузку практически невозможно. На изменение свойств породы уже позже реагирует машинист. Но в течение указанного переходного процесса буровой инструмент испытывает сложнейшие по характеру и величине нагрузки. Вследствие чего стойкость буровых долот значительно снижается.

Из анализа существующих электрических машин вращательного и линейного действия можно сделать вывод, что из соображений прочности, простоты конструкции, удобства токоподвода и применения источников переменного напряжения для питания электрических установок буровых станков, наиболее предпочтительным является асинхронный двигатель с массивным ротором [6]. Вследствие сильно выраженного поверхностного эффекта вихревые токи протекают в сравнительно тонком слое на глубине проникновения электромагнитного поля в тело ротора. Эквивалентная глубина проникновения зависит от частоты перемагничивания ротора. Для двигателя, рассчитанного на частоту 50 Гц, эквивалентная глубина проникновения при пуске ( $s=1$ ) составляет только 1—3 мм, в рабочем режиме при  $s=0,05$  — примерно 5—15 мм. Вообще в линейном приближении глубина проникновения изменяется обратно пропорционально. Это приводит к соответствующему изменению

сечения слоя, по которому протекают вихревые токи, активного сопротивления массивного ротора.

В результате такого проявления с массивным ротором поверхностного эффекта пусковой момент в двигателе с массивным ротором достаточно велик, и он уступает двигателю с короткозамкнутой обмоткой на роторе только по своим рабочим свойствам — КПД и коэффициенту мощности. Объясняется это тем, что в номинальном режиме при скольжении  $s=0,1—0,5$  глубина проникновения тока и потока в тело ротора еще достаточно мала, а электрическое сопротивление для тока и магнитное сопротивление для потока велики, вследствие чего двигатель имеет большие электрические потери в роторе и большой намагничивающий ток.



**Рисунок 1. Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем**

Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем представлена на рис. 1. Стенд состоит из стальной рамы 1 с роликовыми опорами 2, в которых подвижно закреплен массивный ротор 3 в виде стальной магнитной трубы. Статор 4 в виде цилиндрических обмоток расположен вокруг массивного ротора 3 с возможностью продольного перемещения последнего внутри статора. Катушки статора могут подключаться попеременно, как показано на рисунке по одной или несколько штук, на каждую фазу. Таким образом, стенд позволяет проанализировать режимы работы двигателя. Для этого он оснащен динамометром для

измерения усилия подачи, а также приборами для измерения тока и напряжения в определенных фазах. Двигатель стенда не имеет магнитопровода для получения характеристик, зависящих от минимального числа факторов. Двигатель подключается к сети переменного трехфазного напряжения 380 В.

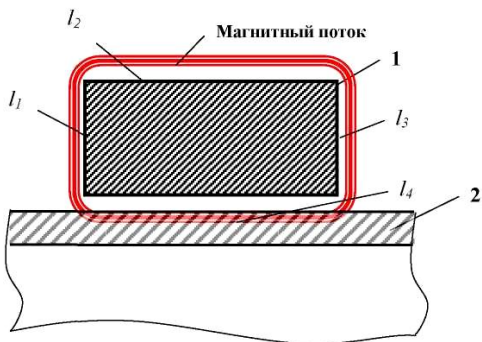
В результате начальных испытаний выяснено, что при потребляемой мощности 6,35 кВт и при нулевой скорости двигатель развивал усилие с учетом погрешности приборов 80—90 Н. Без нагрузки двигатель развивал линейную скорость 0,31 м/с.

Механическая характеристика асинхронной машины линейного действия имеет схожий вид с аналогичной характеристикой асинхронного двигателя вращательного действия. Наличие краевых эффектов при достаточно большой длине массивного ротора оказывает меньшее влияние [6]. Активное  $r_2$  и индуктивное  $X_{\sigma 2}$  сопротивления массивного ротора ввиду сильно выраженного поверхностного эффекта значительно зависят от скольжения. Так, в случае  $f_1=50$  Гц при пуске ( $S=1$ ) эквивалентная глубина проникновения токов в роторе составляет только 3 мм, при  $S=0,02$  — около 20 мм, при  $S=0,001$  — около 100 мм [5]. Поэтому при пуске сопротивление  $r_2$  весьма велико и  $X_{\sigma 2}$  мало, а с уменьшением скольжения сопротивление  $r_2$  уменьшается, а  $X_{\sigma 2}$  — увеличивается.

В результате сильного проявления поверхностного эффекта пусковой момент двигателя с массивным ротором достаточно велик. Однако двигатели малой мощности с массивными роторами при  $f_1=50$  Гц имеют низкие кпд и коэффициент мощности. Но с увеличением мощности растет также и кпд.

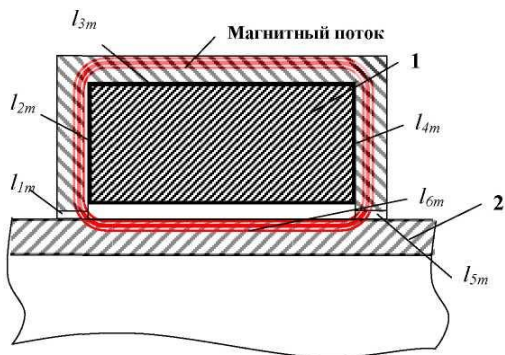
Массивный ротор имеет большое преимущество в прочности. В связи с этим асинхронные двигатели с массивным ротором вполне могут применяться в качестве привода подачи рабочего органа бурового станка.

Поскольку двигатель в лабораторном стенде не имеет магнитопровода, необходимо рассчитать номинальное подающее усилие в случае наличия магнитопровода, изготовленного из электротехнической стали. А затем найти мощность двигателя, способного создавать подающее усилие до 200 или 300 кН в зависимости от модели бурового станка. Для этого необходимо рассчитать магнитное сопротивление цепи в случае с магнитопроводом и без.



**Рисунок 2.** Схема магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного двигателя с массивным ротором без магнитопровода. Здесь 1 — обмотка статора, 2 — массивный ротор в виде стальной трубы  $l_1, l_2, l_3, l_4$  — участки магнитной цепи.

Схемы магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного двигателя с массивным ротором без магнитопровода и с магнитопроводом показаны на разрезе тороидальной обмотки соответственно на рис. 2 и рис. 3.



**Рисунок 3.** Схема магнитной цепи одной обмотки статора линейного асинхронного двигателя с массивным ротором с магнитопроводом. Здесь 1 — обмотка статора, 2 — массивный ротор в виде стальной трубы  $l_{1m}, l_{2m}, l_{3m}, l_{4m}, l_{5m}, l_{6m}$  — участки магнитной цепи с магнитопроводом.

Магнитное сопротивление участка цепи определяется из известного выражения [3]

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}, \text{ Гн}^{-1},$$

где  $R_m$  — магнитное сопротивление участка цепи,  $\text{Гн}^{-1}$ ;

$l$  — длина участка магнитной цепи, м;

$\mu_0$  — магнитная постоянная,  $\text{Гн/м}$ ;

$\mu_r$  — магнитная проницаемость вещества участка магнитной цепи;

$S$  — площадь поперечного сечения участка магнитной цепи,  $\text{м}^2$ .

Магнитное сопротивление цепи без магнитопровода определяется следующим образом

$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_{r1} S} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_{r2} S} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_{r3} S} + \frac{l_4}{\mu_0 \mu_{r4} S} =$$

$$\frac{l_1 (\mu_{r2} \mu_{r3} \mu_{r4}) + l_2 (\mu_{r1} \mu_{r3} \mu_{r4}) + l_3 (\mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r4}) + l_4 (\mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r3})}{\mu_0 S \mu_{r1} \mu_{r2} \mu_{r3} \mu_{r4}}, \text{ Гн}^{-1}.$$

Длины участков магнитной цепи без магнитопровода (рис. 2)

$l_1=0,02$  м;  $l_2=0,06$  м;  $l_3=0,02$  м;  $l_4=0,06$  м. Магнитная

проницаемость вещества участков магнитной цепи [7]  $\mu_{r1}=1$  (воздух);

$\mu_{r2}=1$  (воздух);  $\mu_{r3}=1$  (воздух);  $\mu_{r4}=3500$  (среднеуглеродистая сталь 45).

Площади поперечного сечения участков магнитной цепи принимаем

равными  $S$ .  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$ .

Магнитное сопротивление цепи с магнитопроводом из электротехнической стали определяется следующим образом

$$R_{m2} = \frac{l_{1m}}{\mu_0 \mu_{r1m} S} + \frac{l_{2m}}{\mu_0 \mu_{r2m} S} + \frac{l_{3m}}{\mu_0 \mu_{r3m} S} + \frac{l_{4m}}{\mu_0 \mu_{r4m} S} + \frac{l_{5m}}{\mu_0 \mu_{r5m} S} + \frac{l_{6m}}{\mu_0 \mu_{r6m} S} =$$

$$\frac{l_{1m} (\mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{2m} (\mu_{r1m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{3m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) +$$

$$l_{4m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}) + l_{5m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r6m}) + l_{6m} (\mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m})}{\mu_0 S \mu_{r1m} \mu_{r2m} \mu_{r3m} \mu_{r4m} \mu_{r5m} \mu_{r6m}}, \text{ Гн}^{-1}$$

Длины участков магнитной цепи с магнитопроводом (рис. 3)

$l_{1m}=0,0005$  м;  $l_{2m}=0,0195$  м;  $l_{3m}=0,06$  м;  $l_{4m}=0,0195$  м;  $l_{5m}=0,0005$  м;

$l_{6m}=0,06$  м. Магнитная проницаемость вещества участков магнитной

цепи [7]  $\mu_{r1m}=1$  (воздух);  $\mu_{r2m}=7500$  (электротехническая сталь);

$\mu_{r3m}=7500$  (электротехническая сталь);  $\mu_{r4m}=7500$  (электротехническая

сталь);  $\mu_{r5m}=1$  (воздух);  $\mu_{r6m}=3500$  (среднеуглеродистая сталь 45). Площади поперечного сечения участков магнитной цепи принимаем равными  $S$ .  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м.

Ориентировочное усилие, развиваемое двигателем, обмотки которого имеют магнитопровод, можно найти из соотношения

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{R_{1m}}{R_{2m}}$$

При условии, что воздушный зазор 0,5 мм, при аналогичных размерах магнитопровода получим

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{R_{1m}}{R_{2m}} = P_1 \cdot \frac{0,02 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 3500 + 0,02 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 1}{1} \times \frac{7500}{0,0005 \cdot (7500 \cdot 3500) + 0,0195 \cdot 3500 + 0,06 \cdot 3500 + 0,0195 \cdot 3500 + 0,0005 \cdot (7500 \cdot 3500) + 0,06 \cdot 7500} = P_1 \cdot 97,072$$

Таким образом, трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором, имеющий аналогичные размеры, оснащенный магнитопроводом будет развивать усилие в пределах 7766—8736,5 Н. Среднее значение усилия  $P_1=8251$  Н при потребляемой мощности 6,35 кВт.

Для получения усилия подачи 200 кН данный привод должен будет иметь ориентировочную мощность с учетом магнитных и электрических потерь 154 кВт.

Потребляемая мощность может быть уменьшена: 1. Увеличением площади поперечного сечения и магнитной проницаемости магнитопровода; 2. Уменьшением магнитного сопротивления в воздушном зазоре; 3. Нанесением металлического слоя с высокой электрической проводимостью на поверхность массивного ротора; 4. Созданием пазов в теле массивного ротора.

При этом основной задачей создания электромагнитного привода подачи бурового органа является своевременное реагирование на изменение свойств горной породы. Электромагнитный привод будет реагировать на увеличение или уменьшение показателя буримости соответственным изменением величины тока в обмотке статора. Т. е. точка рабочего режима двигателя будет перемещаться по механической характеристике. Время такой адаптивной реакции будет характеризоваться периодом переходных электромагнитных

процессов, что равняется десятым долям секунды [3]. Изменение тока в обмотке двигателя должно быть учтено при проектировании электрической машины.

Кроме того, данный механизм подачи рабочего органа позволяет легко автоматизировать процесс, в случае длительных перегрузок. Изменение тока будет фиксироваться напрямую с обмотки двигателя. В автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции режим бурения будет изменен. Соответственно должны быть изменены усилие и скорость подачи, а также момент на валу вращательного механизма и скорость вращения бурового става. Регулировка режимов возможна тремя способами: 1) при помощи преобразователя частоты; 2) понижением напряжения — для экстренного снижения величины ударных нагрузок; 3) комплексное использование обоих способов для получения оптимальных режимов.

#### **Выводы:**

1. Применение адаптивного механизма подачи на основе линейного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором возможно на базе существующих буровых станков, запитанных от трехфазной электрической сети;

2. Линейный трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором способен обеспечить требуемое усилие подачи с приемлемым значением потребляемой мощности;

3. Адаптивный привод подачи способен своевременно реагировать на резкие изменения свойств горных пород перемещением точки рабочего режима по механической характеристике асинхронной машины, при соответственном изменении величины тока в обмотке двигателя;

4. Применение в качестве системы подачи линейного электромагнитного двигателя позволяет получать информацию об изменениях физико-механических свойств породы, измеряя величину тока в обмотке двигателя;

5. В случае длительных перегрузок в автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции режим бурения может быть изменен.

#### **Список литературы:**

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2. — 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001, 2001. — 912 с.

2. Арцимович Г.В. Механофизические основы создания породоразрушающего инструмента. — Новосибирск: Наука, 1985. — 268 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. изд. 9, перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1996. — 638 с.
4. Виноградов В.Н. и др. О критерии усталостной прочности зубьев шарошек / Долговечность газонефтепромыслового оборудования и инструмента. Труды МИНХиГП, вып. 81 — М.: — Недра, 1968. — С. 20—25.
5. Вольдек А.И. Электрические машины: Машины переменного тока / Вольдек А.И., Попов Д.А. — СПб.: Высш. шк.; Питер, 2007. — 350 с., ил.
6. Гольдштейн М.И. Специальные стали. Учебник для вузов. / Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г., М.: Металлургия, 1985. 408 с.
7. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники / Китаев В.Е., Шляпинтох Л.С. Учебник для проф.-техн. учебных заведений. Изд. 3-е, переработ, и доп. М., «Высшая школа», 1973 — 360 с.
8. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. 4-е изд. — М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
9. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах. Под ред. В.А. Перетолчина. — М.: Недра, 1993. — 286 с.



## СЕКЦИЯ 6

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

*Пугин Константин Георгиевич*

*канд. техн. наук, доцент ПНИПУ г. Пермь*

*Юшков Владимир Сергеевич*

*аспирант, ПНИПУ г. Пермь*

*E-mail: [vova\\_84\\_07@mail.ru](mailto:vova_84_07@mail.ru)*

#### USE WASTE PRODUCTS METALLURGY FOR CONSTRUCTION OF HIGHWAYS ABOUT CEMENTCONCRETE COVERING

*Konstantin Pugin*

*Candidate of Technical Sciences , The senior lecturer, Perm national  
research polytechnical university, Perm*

*Vladimir Jushkov*

*The post-graduate student, Perm national research polytechnical university,  
Perm*

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается автомобильная дорога на цементобетонном покрытии с применением отходов промышленности, как альтернатива строительству прочных, надежных и экономически дешевых автомобильных дорог. Представлены преимущества и недостатки данной конструкции, а также приведены экспериментальные данные.

## ABSTRACT

In article the highway on cement concrete covering with application waste products of the industry, as alternative construction strong, reliable and economically cheap highways is considered. Advantages and lacks of the given design are submitted, and also experimental data are given.

**Ключевые слова:** Автомобильная дорога; отходы; шлак; минеральные вещества; транспортное средство.

**Key words:** The Highway; waste products; slag; mineral substances; vehicle.

В настоящее время актуальность перехода к массовому строительству цементобетонных покрытий в России не вызывает сомнения. В последние годы наблюдается тенденция создания дорожных бетонов повышенной прочности и долговечности. Это достигается путем модификации структуры бетона химическими добавками: пластифицирующими, воздухововлекающими и газообразующими. В России наилучший эффект получен с комплексной химической добавкой на основе суперплатификатора С-3 и воздухововлекающей добавки СНВ [4].

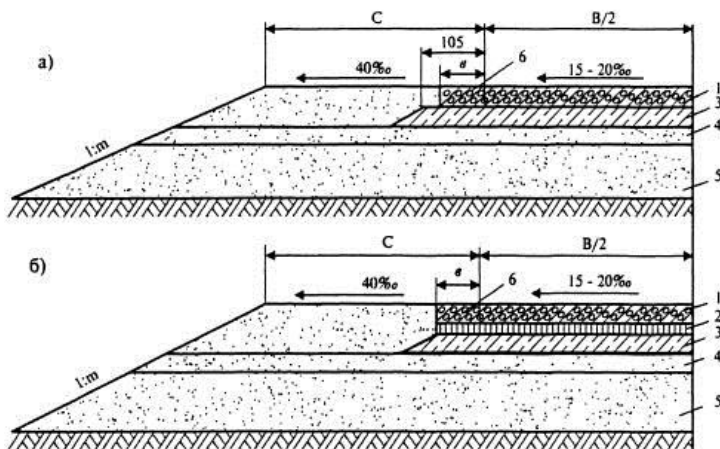
Срок службы цементобетонных покрытий в США, в среднем, 26 лет, асфальтобетонных — 16 лет, в Германии, соответственно, — 26 лет и 18 лет (по данным, приведенным Б.С. Радовским), за рубежом ставится реально выполнимая задача обеспечить срок службы цементобетонных покрытий 50 лет и более. Указанные типы покрытий отличаются также по кинетике разрушения: интенсивность разрушение асфальтобетонных покрытий существенно возрастает уже после 5 лет эксплуатации, цементобетонных — после 20 лет. Уместно вспомнить, что сети автомобильных дорог в США (известные «хайвэй») и в Европе («автобаны») создавались именно на основе цементобетонных покрытий или, например, что в настоящее время в Казахстане покрытие магистрали (в направлении север-юг) строят из цементобетона.

В России проектируемый срок службы цементобетонных покрытий составляет 20—25 лет, асфальтобетонных — 16—20 лет. Для цементобетонных покрытий фактический срок службы соответствует этим расчётным цифрам или превышают их (примером могут служить действующие автомобильные дороги и аэродромы с цементобетонными покрытиями). В то же время, фактический срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в России

составляет, по данным Росдорнии, 5—8 лет, по данным Росавтодора — ещё меньше, 2 года.

В России построено и успешно эксплуатируется более 6 тыс. км. автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями. В США 60 % межштатных дорог с интенсивным движением транспортных средств имеют бетонные покрытия.

Жесткая дорожная одежда с покрытием монолитного типа имеет следующие конструктивные слои: покрытие, выравнивающий слой, основание, дополнительный слой основания (рис. 1).



**Рисунок 1. Поперечные разрезы типовых дорожных одежд с цементобетонным покрытием, устраиваемых комплектами машин:**

- а — со скользящими формами; б — с применением рельс-форм;*  
**1 — покрытие; 2 — выравнивающий слой; 3 — основание;**  
**4 — дополнительный слой основания; 5 — земляное полотно;**  
**6 — укрепленная полоса.**

Одним из актуальных направлений в развитии дорожной сети России является применение в качестве заполнителей и вяжущих материалов для снижения себестоимости строительства отходы промышленности.

Наиболее экономичны конструкции с использованием доменных и сталеплавильных шлаков крупностью до 40 мм. В России имеется большое количество предприятий черной металлургии, на которых в зависимости от технологии производства металла, в больших

количества образуются шлаки различного состава и свойств. При эксплуатации модуль упругости слоев в основании медленно возрастает вследствие наращивания прочности. Применение шлаков с активизатором (хлористым кальцием) дает возможность вести дорожные работы в зимнее время.

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете на автомобильном факультете были проведены исследования по определению возможности использования в качестве заполнителя для бетонов шлака Чусовского металлургического завода и произведена его проверка на коррозионную стойкость [2]. Основу металлургических шлаков составляют оксиды CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO и FeO.

Испытания на коррозионную стойкость бетона проводились на основе методики, изложенной в книгах С.Н. Алексева, Ф.М. Иванова «Долговечность железобетона в агрессивных средах».

Для испытаний были взяты две среды: сульфат натрия с концентрацией 6000 мг/л и органическая среда фенола с концентрацией 10 г/л. Образцы — кубики 10x10x10 см из бетона на шлаковом и природном щебне находились одновременно в каждом виде раствора. Через 1 и 2 месяца из каждого раствора бралось по 4 кубика на шлаковом и по 4 кубика на природном щебне и производилось испытание на сопротивление сжатию. Результаты испытаний приведены в табл. 1 [1, 3].

*Таблица 1*

### Результаты испытаний

Показатель	Среда фенола		Среда сульфата натрия	
	Шлаковый щебень	Природный щебень	Шлаковый щебень	Природный щебень
<i>В момент замачивания</i>				
Вес, гр	2300	2500	2300	2500
R <sub>сж</sub> , МПа	36	32	36	32
<i>Через 1 месяц</i>				
Вес, гр	2450	2550	2400	2500
R <sub>сж</sub> , МПа	37,6	41,6	41,6	50,0
<i>Через 2 месяца</i>				
Вес, гр	2460	2600	2350	2650
R <sub>сж</sub> , МПа	46,4	50,5	42,0	53,0

По окончании исследования выявлено, что агрессивные среды не разрушают ни тот, ни другой бетон. Напротив, бетон продолжает набирать прочность. Несмотря на то, что прочность бетона на природном щебне увеличивается быстрее прочности бетона на шлаковом щебне, это не мешает заявить о том, что шлаковый щебень стоек к агрессивным средам, а образцы бетона на нем не теряют своей прочности.

Исследования бетона на шлаковом щебне Чусовского металлургического комбината доказывают обоснованность применения шлака при дорожном строительстве, а главное — приобретаемую при этом экономическую выгоду и решая экологическую проблему Пермского края [5].

Немаловажно, что строительство дорог с бетонным покрытием в мире непрерывно возрастает, они становятся основным видом магистральных дорог.

#### **Список литературы:**

1. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог на основе вторичных материалов // Приволжский научный вестник. Ижевск: Издательский центр Научного просвещения, 2012, № 4. С. 25—30.
2. Пугин К.Г., Юшков В.С. Тяжелые металлы в отходах черной металлургии // Молодой ученый. Чита: май 2010, № 16, Том I. С. 135—140.
3. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов // Вестник ПГТУ «Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности». Пермь: 2011, № 1. С. 35—43.
4. Шейнин А.М., Эккель С.В. Обеспечение качества монолитного бетона для дорожного строительства // II Всероссийская (международная) конференция по бетону и железобетону. Бетон и железобетон — пути развития: 5—9 сентября 2005г., Москва. Труды. Т.5 — с. 148—157.
5. Юшков В.С., Пугин К.Г. Использование твердых отходов черной металлургии в материалах для строительства автомобильных дорог // В мире научных открытий. Красноярск: 2010, № 5, часть 4. С. 53—57.

## К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННОГО ФИБРОБЕТОНА

*Сеськин Иван Ефимович*

*канд. техн. наук, профессор СамГУПС, г. Самара*

*Баранов Александр Сергеевич*

*инженер, СамГУПС, г. Самара*

*E-mail: [geleont@mail.ru](mailto:geleont@mail.ru)*

## TO THE QUESTION OF FORMATION OF DURABILITY OF VIBROPRESSOVANNOGO FIBROBETON

*Ivan Seskin*

*candidate. technical. sciences, Professor of the Samara State University of  
Transport, Samara*

*Alexander Baranov*

*engineer, the Samara State University of Transport, Samara*

### АННОТАЦИЯ

Изучение влияния от совместного действия прессования и введения базальтовых фибровых волокон на прочность цементного камня и бетона.

### ABSTRACT

Influence studying from joint action of pressing and introduction basalt fiber fibers on durability of a cement stone and concrete.

**Ключевые слова:** вибропрессованный бетон; вибропрессованный цементный камень; давление прессования; дисперсное армирование; прочность при сжатии; прочность при растяжении.

**Keywords:** vibropressed concrete; vibropressed cement stone; pression of pressing; disperse reinforcing; durability at compression; durability at tensioning.

Основной объем выпускаемых мелкоштучных изделий, изготавливаемых методом вибропрессования, не армируется стержневой арматурой. В то же время изделия нередко подвергаются

изгибу и продавливанию. Предопределяющим в восприятии этих усилий является прочность бетона в изделиях, изучению которой, с учетом режима их прессования, до настоящего времени не уделялось должного внимания. Поэтому оценка несущей способности таких изделий вызывает некоторые сложности.

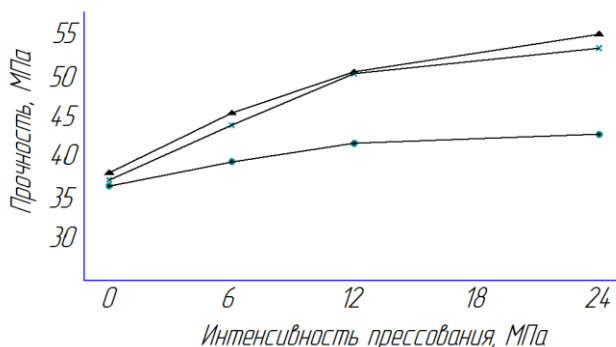
В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований прочности вибропрессованного бетона в зависимости от интенсивности прессования. Известно, что прочность бетона во многом зависит от прочности цементного камня и прочности контакта между крупным заполнителем и цементным камнем. При прессовании цементного теста на стадии образования коагуляционной структуры прочность цементного камня при сжатии существенно повышается, что не может не отразиться и на его прочности при растяжении. Введение же в цементное тесто базальтовых волокон позволит дополнительно увеличить прочность прессованного цементного камня [1]. При прессовании увеличивается и прочность контакта между крупным заполнителем и цементным камнем из-за проникновения цементного молока при прессовании в поры и трещины крупного заполнителя.

Для экспериментального подтверждения указанных предпосылок была проведена серия опытов, в которых отдельно исследовали прочность при сжатии и растяжении цементного камня неармированного и армированного базальтовыми волокнами, и отдельно бетона, также неармированного и дисперсно армированного.

Для проведения опытов были изготовлены образцы-цилиндры, режим прессования которых при изготовлении образцов моделировали тому, который используется в производстве мелкоштучных изделий: кратковременное прессование интенсивностью 6, 12, 24 МПа. Образцы изготавливались из бетона состава: портландцемент марки ПЦ 400 — Д20 с расходом  $500 \text{ кг/м}^3$ , вода —  $200 \text{ кг/м}^3$ , песок —  $500 \text{ кг/м}^3$ , щебень —  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Для дисперсного армирования применяли базальтовые фиброволокна диаметром 13—17 мкм и длиной 6—18 мм, их расход составлял 1,5 и 3 % от массы цемента. Испытанием указанных образцов установились такие характеристики как прочность при сжатии и на растяжение при раскалывании.

Выполненными экспериментальными исследованиями установлено, что прессование способствует существенному увеличению прочности цементного камня при сжатии (рис. 1), особенно армированного дисперсной арматурой. Выявлено, что прессование приводит к росту прочности неармированного цементного камня примерно на 20 %, армированного базальтовыми

волокнами почти на 46 %. Если же рассматривать увеличение прочности в совокупности, т. е. от совместного действия прессования и дисперсного армирования, то увеличение прочности составляет, примерно, в 1,5 раза. Установлено так же, что роль дисперсного армирования в формировании прочности прессованного цементного камня повышается с ростом интенсивности прессования.



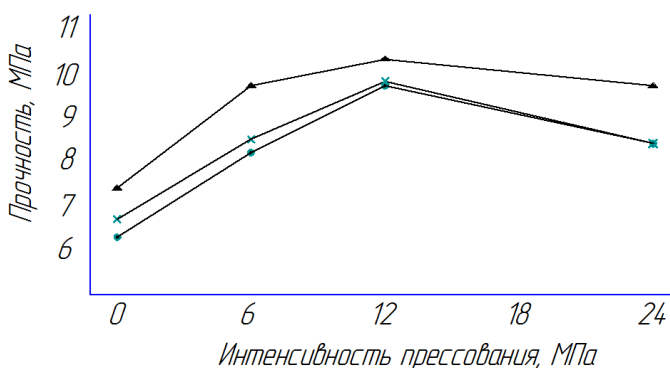
**Рисунок 1. Зависимость между интенсивностью прессования и прочностью цементного камня: • — неармированного; × — армированного базальтовыми волокнами в количестве 1,5 % от расхода цемента; ▲ — то же, 3 %**

Формирование прочности цементного камня при прессовании имеет некоторые особенности, которые следует связывать с следующими явлениями. После затворения цемента водой через небольшой период времени образуется рыхлая коагуляционная структура, в которой отдельные зерна цемента связываются посредством тонкой водной прослойки. Удерживается в устойчивом положении такая структура за счет ван — дер — Ваальсовых сил сцепления. При прессовании эта структура легко разрушается, из нее удаляется часть несвязанной воды, твердые частицы сближаются между собой, способствуя тем самым ускорению процесса образования кристаллической структуры на контакте между твердыми частицами. Формирование структуры прессованного цементного камня протекает более интенсивно, чем обычного, что, в свою очередь, не может не повлиять на его конечную прочность.

Увеличение прочности цементного камня при сжатии приводит к росту его прочности при растяжении. Представленные на рис. 2 опытные данные свидетельствуют о том, что рост прочности



цементного камня при растяжении протекает с ростом интенсивности прессования. Однако при интенсивности прессования более 12 МПа наблюдается некоторое снижение прочности при растяжении. Это, очевидно, следует связывать с тем, что при высокой интенсивности прессования все компоненты цементного теста, в том числе воздух в порах и капиллярах оказываются сжатыми, а после снятия давления прессования в нем будет проявляться упругое последствие, приводящее к увеличению объема уже запрессованного образца. Это способствует некоторому разуплотнению цементного теста и, как следствие, некоторому спаду прочности при растяжении.



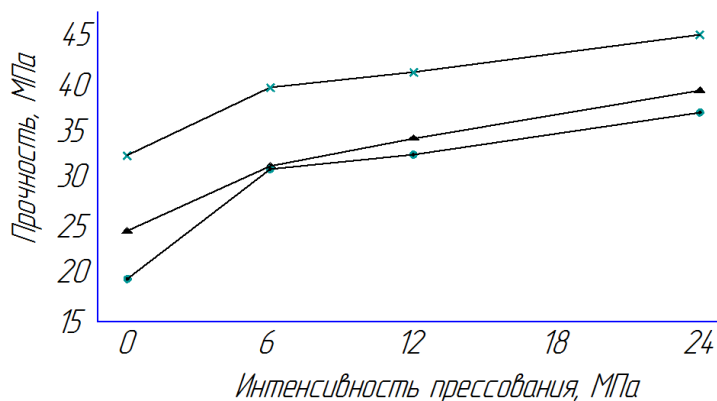
**Рисунок 2** Зависимость между интенсивностью прессования и прочностью цементного камня при растяжении:

- — неармированного; × — армированного базальтовыми волокнами в количестве 1,5 %; ▲ — то же, 3 %

Прессование способствует увеличению прочности при сжатии неармированного и армированного базальтовыми волокнами бетона (рис. 3). Рост прочности неармированного бетона при принятой интенсивности прессования составляет порядка 89 %. Увеличение прочности бетона при прессовании следует связывать с увеличением прочности цементного камня и ростом прочности контакта между крупным заполнителем и цементным камнем.

Дисперсное армирование базальтовыми волокнами менее эффективно действует на формирование прочности бетона, чем цементного камня. Это очевидно следует связывать с разницей в механизмах разрушения бетона и цементного камня. Цементный камень является более однородным материалом, не имеющим существенных концентраторов напряжений, по сравнению с бетоном.

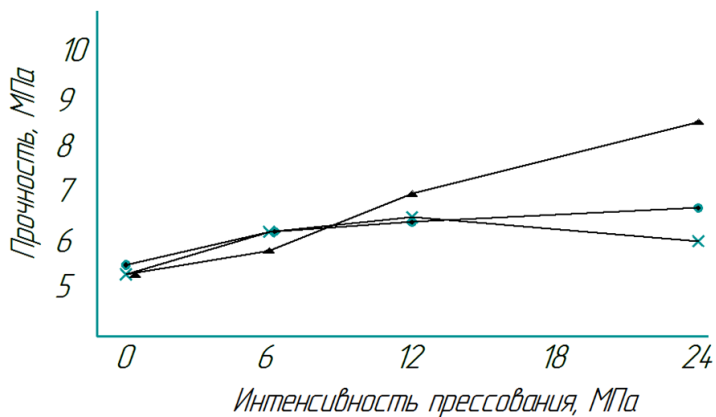
Поэтому нормально ориентированные к растягивающим напряжениям базальтовые волокна воспринимают их, способствуя тем самым росту прочности самого цементного камня. Разрушение же бетона начинается на границе между цементным камнем и крупным заполнителем. Армирование бетона базальтовыми волокнами не оказывает существенного влияния на прочность контактной зоны и соответственно незначительно влияет на формирование прочности бетона в целом.



**Рисунок 3. Связь между интенсивностью прессования и прочностью бетона:**

- — неармированного; × — армированного базальтовыми волокнами в количестве 1,5 % от расхода арматуры; ▲ — то же, 3 %

Данные испытания прочности бетона на растяжение при раскалывании свидетельствуют о том (рис. 4), что прессование способствует увеличению прочности неармированного бетона примерно на 20 %. Указанный рост прочности следует связывать, в основном, с увеличением прочности цементного камня. Увеличение прочности неармированного цементного камня при растяжении составило 43 %, тогда как увеличение аналогичной характеристики бетона составило только 22 %. Такую большую разницу прочности цементного камня и бетона следует связывать с большой неоднородностью бетона.



**Рисунок** Закономерность изменения прочности бетона на растяжение при скалывании: • — неармированного; × — армированного базальтовыми волокнами в количестве 1,5 %; ▲ — то же, 3 %

Рассматривая рост прочности бетона на растяжение при скалывании было установлено, что от совместного действия исследуемых факторов (прессования и армирования бетона базальтовыми волокнами) увеличение прочности исходного бетона составило почти в 1,5 раза.

### Список литературы:

1. Сеськин И.Е., Баранов А.С. Прочность вибропрессованного дисперсно армированного бетона в изделиях. 15-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении — 2012». БГТА. 2012.

# ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ СВЯЗУЮЩИХ

*Соколова Светлана Владимировна*

*канд. техн. наук, доцент САМГУПС, г. Самара*

*E-mail: [sokoilova9967@mail.ru](mailto:sokoilova9967@mail.ru)*

## INCREASEMENT OF FIZIKO-THERMAL PROPERTIES OF HEAT RESISTING CONCRETE ON VARIOUS KINDS BINDING

*Svetlana Sokolova*

*Cand. Tech. Sci., the senior lecturer the Samara state  
University of means of communication, Samara*

### АННОТАЦИЯ

Для регионов, имеющих химическое и нефтехимическое производство, имеется проблема утилизации многотоннажных отходов, к числу которых относятся отработанные катализаторы и отходы сернокислого производства. Установлена возможность применения глиноземсодержащего шлама в качестве основного компонента фосфатных растворов.

### ABSTRACT

There is a problem for the regions having advanced chemical manufactures of recycling of multitonnage industrial wastes the dead catalysts and the wastes of sulphuric acid manufacture. The possibility of using alumina slurry as the main component of the phosphate solution is described, which allows to obtain the greatest effect in the modification of piece refractory's.

**Ключевые слова:** жаростойкий бетон; огнеупоры; фосфатные растворы; модификация; нанотехногенное сырье.

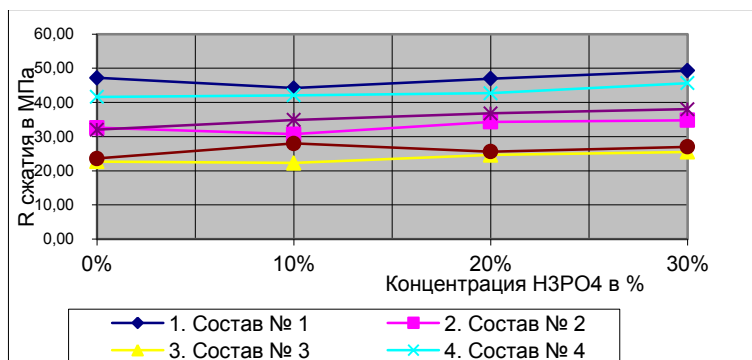
**Keywords:** heat resisting concrete; refractory's; phosphate solutions; modification; heat resistance, raw materials.

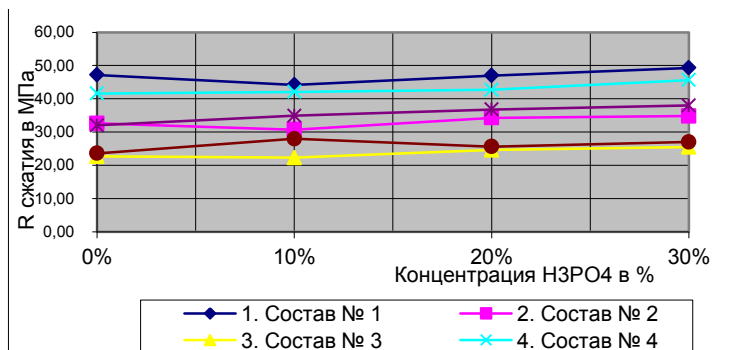
В качестве вяжущих в составах жаростойких композитов (растворов, бетонов) используются как гидравлические цементы (ПЦ, ШПЦ, ГЦ, ВГЦ), так и химические связующие. Улучшить физико-термические свойства жаростойких бетонов можно путем структурно-химической

модификации растворами фосфатных связок [1]. С целью изучения процесса структурной модификации жаростойких бетонов растворами фосфатов были применены бетоны гидравлического твердения. После пропитки образцы подвергали нагреванию при температуре 800<sup>0</sup>С с выдержкой в течение двух часов. Составы жаростойких бетонов при следующем соотношении компонентов масс. %:

- состав № 1 ГЦ : 31,3; шамотный песок: 67; известь-пушонка: 1,7;
- состав № 2: ПЦ-400-Д-20: 22; отработанный катализатор ИМ-2201: 9,5; шамотный песок: 67; известь-пушонка: 5 % 1,7;
- состав № 3: ПЦ-400-Д-20: 23; отработанный катализатор ИМ-2201: 10; шамотный песок: 67;
- состав № 4: ГЦ: 30; шамотный песок: 67; известь-пушонка 5 % : 3;
- состав № 5: ГЦ: 33; шамотный песок: 67;
- состав № 6: ПЦ-400-Д-20: 21; отработанный катализатор ИМ-2201: 9; шамотный песок: 67; известь-пушонка 10 % : 3.

Результаты испытаний приведены на рисунке 1.





**Рисунок 1. Зависимость прочности образцов из жаростойкого бетона после обжига (не пропитанные и пропитанные) от концентрации  $H_3PO_4$ .**

Как видно из графика на рисунке 1 наибольшей прочностью обладают образцы на глиноземистом цементе, в составе которых присутствует известь-пушенка. Известь-пушенка вводилась в состав бетона в качестве активизатора химических реакций, происходящих с ортофосфорной кислотой, что способствовало ее проникновению на наибольшую глубину [2]. Химические связующие позволяют широко использовать многие неорганические отходы промышленности, в том числе нанотехногенное сырье — глиноземсодержащие шламы. Шламовые отходы отличаются от высокодисперсных порошкообразных материалов наноразмерностью, которая находится в пределах от 20 до 80 нм и зависит от условий образования. Исследования образцов шламов с целью определения размерности его частиц были проведены в институте ядерных исследований (г. Гатчина, Ленинградская область) методом малоуглового рассеяния нейтронов на дифрактометре «Мембрана-2». При формировании цементного камня в бетоне происходит силикатное или фосфатное связывание неорганических отходов в устойчивые высокотемпературные соединения. Были исследованы бетоны на смешанных алюмофосфатных связующих (АФС). Для получения смешанного АФС в качестве глиноземсодержащего компонента использовали шлам щелочного травления алюминия и ортофосфорную кислоту. При введении тонкомолотых огнеупорных наполнителей, таких как корунд, технический глинозем, циркон в композицию шлама щелочного травления алюминия с ортофосфорной кислотой образуются смешанные алюмофосфатные связующие, обладающие иными свойствами, чем чистое фосфатное связующее. Огнеупорность смешанных АФС

возрастает пропорционально количеству глиноземсодержащего продукта. Результаты испытаний смешанных фосфатных связующих в бетонах приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Термо-механические характеристики бетонов на смешанных фосфатных связующих**

Состав масс кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность кг/м <sup>3</sup> , в сухом состоянии	Предел прочности при сжатии, МПа, после твердения и нагревания до температур, °С					Температура деформации под нагрузкой, °С			Термостойкость, теплосмены водные
		20°С 7 сут.	500	800	1200	1400	Н.Р.	4 %	40%	
ГСШ – 90 Глинозем – 350 Щебень – 750 Песок – 640 Н <sub>3</sub> РO <sub>4</sub> – 260	2010	4,5	43	45,3	47	45	1410	1500	1560	35
ГСШ – 220 ОК – 220 Щебень – 750 Песок – 640 Н <sub>3</sub> РO <sub>4</sub> – 260	2000	8,5	44	44,5	46	46	1370	1460	1500	29
ГСШ – 220 Циркон КЦ-1 – 230 Щебень – 750 Песок – 640 Н <sub>3</sub> РO <sub>4</sub> – 260	2050	7,1	38	47,5	49	50,5	1500	1580	1640	35

\*ГСШ — глиноземсодержащий шлам; ОК — отработанный катализатор

Полученные с применением шлама щелочного травления алюминия жаростойкие бетоны на химических связующих имеют температуру применения 1500—1550<sup>0</sup>С, и термостойкость до 35 воздушных теплосмен [3].

### **Список литературы**

1. Соколова С.В. Влияние структурно-энергетических характеристик гидрооксидов металлов на их химическое связывание с ортофосфорной кислотой с целью получения фосфатных связующих для жаростойких бетонов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 9. — С. 29—31.
2. Соколова С.В. Структурно-химическая модификация безобжиговых огнеупоров с целью повышения их стойкости и долговечности / Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство» Российской инженерной академии/под ред. А.И. Звездава. — М.: Российская инженерная академия, вып. 11. — 2010. — С. 104—107.
3. Хлыстов А.И., Соколова С.В. Повышение эффективности жаростойких композитов за счет применения химических связующих // Технологии бетонов. — 2010. — № 9—10. — С. 30—33.



## СЕКЦИЯ 7.

### СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РС(Я)

*Друзьянова Варвара Петровна*

*канд. тех. наук, СВФУ, г. Якутск*

*E-mail: [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru)*

*Петрова Софья Алексеевна*

*канд. с.-х. наук, доцент СВФУ, г. Якутск*

*E-mail: [sofalo@list.ru](mailto:sofalo@list.ru)*

#### TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF USING MANURE CAS SETTINGS IN THE AGRARIAN SECTOR OF RS(Y)

*Varvara Drusyanova*

*candidate of technical science,*

*SVFU (NEFU), Yakutsk*

*Sofia Petrova*

*candidate of agriculture science*

#### АННОТАЦИЯ

Изучен компонентный состав биогаза от различных видов с/х животных. Рассчитаны потенциальные возможности выработки биогаза в аграрном секторе исходя из поголовья скота, эквивалентные показатели энергоресурсов, технологическое оборудование, экономическая эффективность производства биогаза в хозяйствах на 20 и 50 голов крупного рогатого скота.

## ANNOTATION

Component structure of manure gas from different species of agriculture animals has been studied. Manure gas output potentiality in agrarian sector, based on livestock population, equivalent energy supply indexes, technological equipment, cost efficiency of manure gas production in farms of livestock of 20 and 50 have been calculated.

**Ключевые слова:** биогаз; навоз; технологическое оборудование; экономика

**Key words:** manure gas; manure; technological equipment; economics

В сельской местности РС (Я) живет до 40 % населения, занятого животноводством и растениеводством. Сельское хозяйство в Якутии рассматривается, в первую очередь, как основа сохранения этноса. В сложных экономических условиях, последствиях финансового экономического кризиса, постоянного роста стоимости энергоносителей, труднодоступности и отдаленности населенных пунктов и в связи с суровыми климатическими особенностями региона, необходимо развитие нетрадиционных подходов в получении дополнительной, доступной тепловой и электрической энергии.

А также в связи с реализацией Федерального закона Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные объекты Российской Федерации», наиболее актуальным и востребованным является на данном этапе применение биогазовой технологии. Как известно, использование данной технологии дает возможность получения не только биогаза — резервного источника энергии, но и значительно улучшить экологическую обстановку. Вырабатываемый биогаз после очистки и компрессии может использоваться для сжигания в конфорках, в бытовых целях. Отходы, получаемые после метанового брожения биомассы, являются качественными экологически чистыми удобрениями и кормовыми биодобавками.

Таким образом, использование биогазовых установок обеспечивает фактически безотходное производство, что в условиях действия ФЗ-88 «О техническом регламенте на молоко и молочную продукцию», требующего строгого соблюдения санитарных требований, несомненно, может только положительно повлиять на развитие аграрного сектора республики в целом.

Конкретная схема установки для каждого фермерского хозяйства может быть различна и зависит от множества факторов, в т. ч. от объема поголовья крупного рогатого скота, возможности (объем рынка) реализации удобрений, стоимости существующих энергоносителей (электричество, тепловой энергии), отдаленности населенного пункта и т. д.

В связи с этим, на первом этапе исследований для изучения эффективности сырья нами был проанализирован компонентный химический состав газов (ГОСТ 31371.7-08) от различных видов домашнего скота. Как видно из таблицы 1 из всех видов отходов наибольший выход биогаза получается от навоза КРС и лошадей (табл.1), что дало нам основание сделать прогнозы по использованию органических отходов животноводства в биогазовых установках.

*Таблица 1.*

#### Состав биогаза

№	Вид биогаза	Плотность биогаза, кг/м <sup>3</sup>	Концентрация метана	
			об.%	кг/м <sup>3</sup>
1	Коровий	0,83534	85,77	0,57
2	Куриный	0,88318	81,69	0,54
3	Конский	0,84954	84,57	0,56
4	Свиной	0,84036	85,35	0,57

#### Потенциал использования биогазовых установок в РС (Я).

По состоянию на 1.05.2010 г. на территории Республики Саха (Якутия) в 28 районах насчитывается 237 051 голов поголовья крупного рогатого скота. При этом больше половины поголовья в хозяйствах содержатся по 15 и 20 голов (табл. 2). Наибольшее поголовье крупного рогатого скота имеется в Центральных и Вилюйских группах улусов (районов). Например, в Чурапчинском районе насчитывается 27 004 коров, а в Мегино-Кангаласском районе 26 408 коров.

Таким образом, при условии обеспечения всех фермерских (крестьянских) хозяйств установками по выработке биогаза, можно ежегодно получать 62 486,4 тыс. м<sup>3</sup> биогаза (табл. 2).

**Таблица 2.**

**Ожидаемый объем биогаза от фермерских (домашних) хозяйств с поголовьем КРС на территории РС (Я)**

Кол-во населения, чел.	Всего поголовье скота, гол.	Количество фермерских (крестьянских) хозяйств с поголовьем КРС			Ожидаемый ежегодный объем вырабатываемого биогаза, тыс. м <sup>3</sup>		
		12 гол	20 гол	50 гол	12 гол	20 гол	50 гол
431762	237051	3160	2633	792	18201,6	25276,8	19008

Эквивалентные показатели энергоресурсов по выходу биогаза в РС (Я) приведены в табл. 3.

**Таблица 3.**

**Эквивалентные показатели энергоресурсов по сравнению с биогазом при установке биогазовых установок на территории РС (Я)**

№ п/п	Эквивалентный показатель		Объем эквивалентного топлива	
	Наименование	Коэффициент	Объем, кг (м <sup>3</sup> )	Стоимость, тыс. руб.
1	Дизельное топливо	0,59	36 712 518,01	1 004 594,00
2	Газоконденсат	0,66	41 552 827,65	280 244,74
3	Дрова	3,31	206 609 893	132 746,86
4	Уголь бурый (Кангаласский)	1,64	102 169 727,3	79 181,54
5	Уголь каменный (Джибарики-Хая)	1,10	68 869 964,34	80 371,25

*Примечание: в таблице приведена средняя стоимость топлива по районам без учета затрат на транспортировку и его хранение.*

При сжигании потенциального объема биогаза в зависимости от режимов сбраживания ежегодно можно получить от 185,95 до 297,52 тыс. Гкал, что составляет в действующих тарифах на тепловую энергию от централизованных источников от 606,36 до 970,18 млн.руб. (табл. 4.).

Объем получаемых средств, зависит от технологии сбраживания при производстве биогаза. Коэффициент полезного действия составляет при сбраживании:

- В психрофильном режиме 10\*С-30\*С — 50 %
- В мезофильном режиме 32\*С-39\*С — 70 %
- В термофильном режиме 50\*С-55\*С — 80 %

*Таблица 4.*

**Объем финансовых средств, получаемых при сжигании получаемого биогаза в разрезе районов РС (Я)**

Средний тариф на тепловую энергию, руб/Гкал	Потенциальное количество теплоэнергии получаемое при сжигании биогаза при КПД, тыс.Гкал			Экономический эффект при КПД, млн.руб.		
	50 %	70 %	80 %	50 %	70 %	80 %
3357	185,95	260,33	297,52	606,36	848,91	970,18

*Таблица 5.*

**Объем финансовых средств, получаемых при преобразовании полученного биогаза в электроэнергию в разрезе районов РС (Я)**

Потенциально ежегодно вырабатываемый объем биогаза, тыс.м <sup>3</sup>			Объем получаемой электроэнергии, кВт	Стоимость электроэнергии, тыс.руб
12 ед.	20 ед.	50 ед.		
18 201,6	25 276,8	19 008,0	31 243 200	96 541,5

**Капитальные вложения и экономическая эффективность**

Для организации технологического процесса получения биогаза, необходимо приобретение специализированного оборудования. При организации производства метантенков (биореакторов) на территории г. Якутска капитальные затраты на изготовление метантенков с учетом стоимости комплектующих в г. Якутске приведены в таблице 6 (цены приведены по состоянию на 1.05.2010 г.).

Таблица 6

Капитальные затраты на изготовление метантенка объемом в 1 м<sup>3</sup>

№	Наименование	Стоимость единицы	Количество	Сумма, руб.
1	Стальной лист 3 сп 2мм 1*4 № 70495 для биореактора, шт.	5 000	3	15 000
2	Терморегулятор АРТ -18-5Н 0-60 град, шт.	2 000	1	2 000
3	Ленточный электронагреватель 0,46 кВт	2 780	1	2 780
4	Электрод МР-3,кг	—	5	250
5	Краска антикоррозионная, шт.	500	2	1 000
6	Вентиль шаровый 50 (1 шт-2,51 кг)	570	2	1 140
7	Вентиль шаровый 15	80	1	80
8	Сгон 50	200	2	400
9	Сгон 15	50	1	50
10	Уголок ст.45*45 3сп дл. 9м 1-шт-24,57 кг	45 800	2	2 250
11	Болты, гайки	—	—	500
12	Пенополистирол 10 мм,м	—	10	2 000
13	Газгольдер 1 м <sup>3</sup>	—	1	50 000
14	Зарплата сварщику	—	—	5 000
	<b>Итого</b>			<b>82 450</b>

*Примечание: Для загрузки биореактора свежим навозом должен применяться насос жижеборник НЖН-200 стоимостью 250 тыс. рублей. Но, с учетом материального положения фермеров, сельских жителей нашей республики загрузка свежего навоза может проводиться и вручную.*

Метантенков на ферме может быть установлено любое количество, а насос НЖН-200 — только 1 шт.

Если сравнивать стоимость метантенка местного производства, то можно констатировать факт, что его стоимость в 3,5—6 раз ниже аналогичных биогазовых установок (табл. 7).

**Таблица 7**

**Сравнительная оценка с российскими предприятиями —  
изготовителями биогазовых установок**

№	Изготовители биогазовых установок	Стоимость ед.руб.
1	АО «Стройтехника-Тульский завод» (без транспортных расходов и монтаж работ)	288 000
2	«КОУД» г. Вологда (без транспортных расходов и монтаж работ)	500 000
3	Местное производство	82 450

При создании полной технологической цепочки, позволяющей полноценно получать и использовать биогаз, помимо метантенков необходимо наличие следующего оборудования:

- Газогенератор (стоимость 200 000 руб.);
- Компрессор (стоимость от 50 000 до 150 000 руб.);
- Насос фекальный НЖН-200 (стоимость 150 000 руб.);
- Ресивер (стоимость 80 000 руб.);
- Отопительный котел БИАСИ-24 (стоимость 29 000 руб.);
- Газовая плита (стоимость 15 000 руб.);
- Газовый счетчик (стоимость 43 000 руб.);
- Проектные работы (стоимость от 10 000 до 20 000 руб.);
- Расходный материал и монтажные работы (стоимость от 40 000 до 170 00 руб.);

Кроме этого необходимо предусмотреть, транспортные и командировочные расходы, а также зарплату специалистов. Например, для комплекса, содержащего 50 коров необходимо 1 метантенк (увеличенной емкости), 20 коров — 2 метантенка (стандартной комплектации)

**Таблица 8.**

**Перечень оборудования для получения биогаза  
(количество КРС — 20 ед.)**

№	Виды расходов	Количество	Стоимость	Сумма
1	Биореактор	2	82 450	164 900
2	Компрессор	1	50 000	50 000
3	Расходный материал и монтажные работы		30 000	30 000
4	Газгольдер	1	20 000	20 000
	<b>Итого:</b>			<b>264,900</b>

*Таблица 9.*

**Перечень оборудования для получения биогаза  
(количество КРС — 50 ед.)**

<b>№</b>	<b>Виды расходов</b>	<b>Количество</b>	<b>Стоимость</b>	<b>Сумма</b>
1	Биореактор	1	289 500	289 500
2	Компрессор	1	50 000	50 000
3	Насос фекальный НЖН -200	1	105 000	105 000
4	Расходный материал и монтажные работы		40 000	40 000
5	Газгольдер	1	30 000	30 000
	<b>Итого:</b>			<b>514 500</b>

В качестве примера рассчитан экономический эффект при применении биогазовой установки для хозяйств с количеством КРС 20 и 50 голов применительно к характерному населенному пункту. В качестве населенного пункта выбрано с. Майя Мегино-Кангаласского района, находящееся в центральной части республики. В целях объективного анализа, в данном расчете затраты и получаемые доходы по годам приведены без дефляторов. Кроме этого, экономический эффект представлен как в прямом соотношении, так и с нарастающим потоком.

Амортизационные отчисления приняты в размере 10 % с учетом срока службы оборудования и рассчитаны по линейному (пропорциональному) методу. Эквивалентная стоимость получаемой тепловой энергии рассчитывается исходя из действующего тарифа на тепловую энергию на 2010 г. по централизованному теплоснабжению (поставщики тепловой энергии ГУП «ЖКХ РС (Я)» и ОАО «Теплоэнергосервис»). Объем тепловой энергии, получаемый из биогаза, рассчитан из условий брожения биогаза в термофильном режиме (температура брожения 50°C—55°C), коэффициент полезного действия при этом будет составлять 80 %.

Стоимость органического топлива в расчетах принята по 5 руб/кг при рыночной стоимости не ниже 10 руб/кг, что объясняется необходимостью обеспечить полную реализацию органического топлива.

Как показано на рис.1. при применении биогазовой установки для хозяйства с количеством крупного рогатого скота 20 голов, окупаемость капитальных затрат произойдет на 2 год эксплуатации. При этом ежегодный экономический эффект составит в текущих ценах 443,79 тыс.руб. Если рассматривать северные и районы Вилюйской



группы, то ежегодный экономический эффект составит в текущих ценах 523,74 тыс.руб.

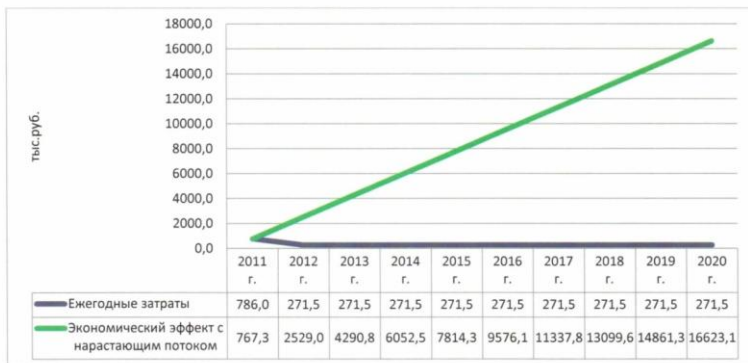


**Рисунок 1. Экономический эффект при применении биогазовой установки для хозяйства с количеством КРС 20 ед. (на примере Мегино-Кангаласский район).**

При применении биогазовой установки для хозяйства с количеством крупного рогатого скота 50 голов (рис.2), окупаемость капитальных затрат происходит в первый год эксплуатации за счет высокой отдачи как по тепловой энергии, так и по производству органических удобрений. Реализация такого проекта является наиболее выгодным решением при принятии управленческих решений по организации производства биогаза и органических удобрений.

Здесь необходимо учитывать, что объем производства биогаза и минеральных органических удобрений значительно увеличивается по сравнению с предыдущим проектом (20 голов КРС). Требуется иной подход, так как производство переходит из разряда обеспечения собственными ресурсами (органические удобрения), на возможность реализовывать эти ресурсы другим потенциальным клиентам.

Таким образом, ежегодный потенциальный экономический эффект может составить в пределах 1761,8 тыс. руб., при эксплуатационных затратах в размере 220 тыс. руб. Это связано с возможностями производства органических удобрений в объеме 3 360 т.



**Рисунок 2. Экономический эффект при применении биогазовой установки для хозяйства с количеством КРС 50 ед. (на примере Мезино-Кангаласского района).**

Объем получаемых средств зависит от технологии сбраживания при производстве биогаза, при этом коэффициент полезного действия составляет при сбраживании:

- В психрофильном режиме 10°C—30°C — 50 %
- В мезофильном режиме 32°C—39°C — 70 %
- В термофильном режиме 50°C—55°C — 80 %

Помимо биогаза, вторичным продуктом является получение органических удобрений в объеме 624,86 тыс. тонн. При стоимости 5 руб/кг, объем средств, получаемых в результате реализации органических удобрений составит 3 124,32 млн.руб. Исследованиями доказано, что получаемое органическое удобрение обеспечивает повышение урожайности культур минимум в 2—3 раза, снижает кислотность почвы. 1 литра такого удобрения достаточно для обработки 2—15 м<sup>2</sup> почвы. Применяется не реже 3—4 раз в сезон.

Высушенный переработанный субстрат (эффлюент) биогазовых установок может использоваться и в качестве кормовой биодобавки, как источник белка и витаминов группы В<sub>12</sub>, что немаловажно для разведения животных в наших климатических условиях.

Сравнительный анализ способов использования биогаза, показывает, что оптимальным вариантом является его непосредственно сжигание. Это связано с тем, что КПД при преобразовании биогаза в электроэнергию в среднем равен 20 %.

## **Заключение**

Использование биогазовых установок является однозначно выгодным производством и требующим пристального внимания со стороны сельских производителей. Сельское население, которое будет использовать биогазовую установку, приобретает большой потенциал для улучшения своего социально-экономического положения, и при соответствующей оптимизации и интенсификации производства может добиться высоких результатов, переходя на высокорентабельный уровень.

Кроме этого, особенностью реализации проектов по энергосбережению на территории РС (Я), вызвано тем, что стоимость энергоносителей значительно выше, чем в других регионах РФ в среднем в 3 раза. А применение биогазовых установок позволяет на каждый вложенный рубль приносить прибыль в размере двух-трех рублей.

Таким образом, к преимуществам биогазовых технологий можно отнести:

- Независимость от государства в сфере энергоносителей энергообеспечения;
- Экономия денежных средств за счет перехода на собственный биогаз;
- Вместо обычной утилизации органических отходов производится энергия, и используется питательные вещества;
- Улучшение экологии предприятия, на котором реализуется проект;
- Получение дополнительной прибыли за счет выработки «зеленой» энергии и снижение уровня вредных выбросов в атмосферу;
- Биогазовая жижа более эффективна как удобрение по сравнению с неферментированной жижой;
- Создание дополнительной экономической опоры: заработать деньги — произвести экологически безопасную энергию.

## **Список литературы:**

1. Келов К., Байрамов Р., Юферев И.Р., Кашанов А. Исследование показателей производительности биогазовых реакторов при метановом сбраживании органических отходов животноводства.// Изв. АН ТССР, Сер. физ-техн., хим. и геолог.н. — 1990 — № 3 — с. 54—57.
2. Паршина С.Н., Коцюрбенко О.Р., Некрасова В.К., Кожевникова А.Н. Анаэробная обработка отходов животноводства в экспериментальных условиях.// Микробиол. Охрана биосферы в регионах Урала и Сев. Прикаспия: Тез. докл. Всес.симп.-Оренбург, 1991 — с. 98—99.

## СЕКЦИЯ 8

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСМИЯ И СЕРЕБРА В ЦИКЛЕ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ОБЖИГОВЫХ ГАЗОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Арешина Наталья Станиславовна*

*канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты  
E-mail: [areshina@chemy.kolasc.net.ru](mailto:areshina@chemy.kolasc.net.ru)*

*Касиков Александр Георгиевич*

*канд. хим. наук, зав. сектором гидрометаллургии,  
ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты  
E-mail: [kasikov@chemy.kolasc.net.ru](mailto:kasikov@chemy.kolasc.net.ru)*

*Дрогобужская Светлана Витальевна*

*канд. хим. наук, ст. науч. сотр., ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты  
E-mail: [drogo\\_sv@chemy.kolasc.net.ru](mailto:drogo_sv@chemy.kolasc.net.ru)*

#### INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF PROCESSES OF OSMIUM AND SILVER RECOVERY IN PRODUCTOIN CYCLE OF SULPHURIC ACID PRODUCTION FROM ROASTING GASES OF COOPER–NICKEL TECHNOLOGY

*Natalya Areshina*

*Ph.D.(Eng.), Senior researcher,  
Institute of Chemistry and Technology of  
Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Kola  
Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity*

*Aleksandr Kasikov*

*Ph.D. (Chem.), Leader of the  
sector of hydrometallurgy,*

*Institute of Chemistry and Technology of Rare  
Elements and Mineral Raw Materials of the Kola  
Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity*

**Svetlana Drogobuzhskaya**

*Ph.D.(Chem.), Senior researcher,  
Institute of Chemistry and Technology of  
Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Kola  
Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity*

*Исследования выполнены при частичной поддержке Российского  
Фонда Фундаментальных Исследований (проект 12-08-98806-  
р\_север\_a).*

### **АННОТАЦИЯ**

С целью повышения сквозного извлечения осмия и серебра исследованы возможности концентрирования этих элементов в цикле производства серной кислоты. Предложен способ концентрирования осмия из промывной серной кислоты и сильноокислых конденсатов при экстракционной регенерации серной кислоты, а также установлено, что при переработке селеновых кеков гидрохимическими методами этот элемент концентрируется в остатках выщелачивания. Для извлечения серебра из селеновых кеков разработан процесс гидрохимического обогащения с последующим выделением этого элемента сорбционным способом.

### **ABSTRACT**

With the view of increase of through recovery of osmium and silver the possibilities of concentrating this elements in production cycle of sulphuric acid production are studied. The method of concentrating of osmium from scrubbing sulphuric acid and heavily acidic condensates in the time of sulphuric acid regeneration is proposed. It is determined, that during the processing of selenium depositions by hydrochemical methods this element is concentrated in leaching residues. With the object to recover the silver from the selenium depositions the process of hydrochemical concentration with the following separation this element is developed.

**Ключевые слова:** осмий; серебро; сорбция; экстракция.

**Keywords:** osmium; silver; sorption; extraction.

Пиromеталлургическая переработка медно-никелевого сырья сопровождается рассеиванием ценных элементов по промежуточным продуктам технологии, что вызывает их безвозвратные потери и низкое сквозное извлечение. Так, потери серебра достигают 50 %, а такой редкий элемент, как осмий, в настоящее время в готовую продукцию не извлекается. На предприятиях ОАО «Кольская ГМК» (КГМК) для утилизации обжиговых газов, содержащих среди прочих и соединения этих металлов, реализовано производство серной кислоты контактным методом. Основными побочными продуктами сернокислотных отделений (СКО) являются промывная серная кислота (ПК), сильноокислые газоходные конденсаты (СК), а также селеновые кеки, осаждающиеся при мокрой очистке газов в промывных башнях и электрофильтрах. Некондиционные растворы СКО частично используются в основной технологии после очистки или подлежат нейтрализации и сбросу, а селеновые кеки, в зависимости от химического состава, складировуются или направляются на переработку для получения селеновой продукции за пределы КГМК. При этом недостаточно эффективная утилизация промежуточных продуктов СКО сопровождается попаданием токсичных соединений в атмосферу производственных помещений и окружающую среду, а также рассеиванием и потерями ценных компонентов.

Важными условиями внедрения технологий переработки промежуточных продуктов и отходов является минимизация капитальных вложений для их реализации, поэтому перспективными направлениями являются их совместная переработка, обеспечение максимально возможного использования растворов в действующей технологии, а также возможность реализации процессов на имеющихся производственных мощностях.

В исследованиях применяли химический, атомно-эмиссионный, спектрофотометрический, рентгеноспектральный, рентгенофазовый и масс-спектрометрический методы анализа. Для оценки содержания осмия в продуктах, содержащих селеновую основу, разработана методика масс-спектрометрического определения после автоклавного микроволнового разложения, позволяющая избежать потерь при вскрытии образцов. Для разложения использовали системы MWS-3<sup>+</sup> и WS-4 фирмы BERGHOF, автоклавы DAC-100 из материала TFM, объёмом 100 мл, выдерживающие максимальное давление 100 бар, максимальная температура разложения образцов — 220°C. Измерения проводили на масс-спектрометре ELAN 9000 DRC-e (Перкин Элмер, США), для предотвращения сорбции осмия на стенках системы

распыления в раствор предварительно вводили комплексообразователь.

Комплексное опробование промпродуктов серноокислотных отделений показало, что с точки зрения извлечения осмия перспективна не только переработка растворов промывной кислоты, что изучено ранее в наших работах и исследованиях других авторов [3, 4], а также растворы сильноокислых газоходных конденсатов. Анализ показал, что содержание осмия в СК находится на том же уровне, что и в растворах ПК (до  $4,0 \cdot 10^{-3}$  г/л), однако очевидно, что вследствие низкого содержания хлора в конденсатах это элемент должен находиться в виде наиболее инертных к процессу экстракции комплексных соединений [5].

Химический анализ селеновых кеков, образующихся в СКО комбинатов «Североникель» и «Печенганикель», свидетельствует о целесообразности рассмотрения вопросов концентрирования серебра при их переработке на селеновую продукцию, а также осмия в случае индивидуальной переработки кеков комбината «Североникель». Так, в исследованных пробах кеков содержание серебра составило 0,5—0,12 %, а осмия в кеках комбината «Североникель» — 0,034 %. Следует также отметить, что последний отличается по своему химическому составу от кека комбината «Печенганикель» более высоким содержанием селена (до 50 %) и пониженным содержанием свинца, что сказывается на выборе наиболее эффективных методов их гидрохимического обогащения.

Ранее в ИХТРЭМС КНЦ РАН разработана экстракционная схема утилизации растворов ПК, обеспечивающая регенерацию серной кислоты с применением смесей на основе третичных аминов, а также концентрирование осмия, рения в оборотном экстрагенте и использование серноокислых продуктов переработки в основной технологии [3]. В результате дополнительных исследований с целью исключения попадания селена в растворы электролиза предложено проводить предварительную цементационную очистку растворов с использованием медьсодержащего реагента [2]. Для вовлечения в переработку газоходных конденсатов в данной работе была изучена экстракция осмия в условиях, моделирующих реальные технологические процессы.

Получены данные в пределах концентраций 100—1200 г/л  $H_2SO_4$ , так как дальнейшее повышение приводило к невозможности фильтрования и анализа растворов. Следует отметить, что структура экстрагента изменялась уже при концентрациях серной кислоты более 800 г/л, поэтому технологически приемлемыми следует

считать производственные растворы, разбавленные до концентрации не выше указанной.

В общем случае коэффициенты распределения осмия при экстракции смесью триалкиламина (ТАА) с октанолом снижались с ростом концентрации серной кислоты (табл. 1), что, вероятно, обусловлено как преимущественным образованием неэкстрагируемых комплексных сульфитных и хлоридных соединений осмия, так и усилением конкурирующего влияния экстракции  $H_2SO_4$ .

В растворах, содержащих хлоридные соединения, коэффициент распределения снижался с ростом концентрации серной кислоты от 61 до 8,2 (максимальная степень извлечения 85,9 %), наличие сернистого газа в растворе, содержащем  $Cl^-$  — ион способствовало частичному восстановлению осмия до инертных хлоридо- и сульфитокомплексов во всем диапазоне концентраций (коэффициент распределения снижался от 31,8 до 7,7).

*Таблица 1.*

**Коэффициенты распределения для различных форм осмия при экстракции смесью 30 об. % ТАА и октанол-1 ( $\tau=10$  мин,  $0:B=1:10$ )**

$CH_2SO_4$ , г/л	Коэффициенты распределения D			
	Тetraоксид осмия	Хлоридные комплексы	Сульфитные комплексы	Сульфитные и хлоридные комплексы
100	105,0	61,0	-	61,0
300	100,0	42,3	13,4	31,8
500	51,6	31,4	8,9	26,7
700	46,8	19,7	7,2	21,8
900	13,0	13,8	7,4	17,0
1200	7,8	8,2	11,6	7,7

Извлечение осмия при экстракции данной смесью из реальных растворов ПК и СК составляло 50—60 % в хлорид-содержащей среде и уменьшалось до 10—12 % при повышении концентрации  $H_2SO_4$  более 800 г/л и снижении содержания  $Cl^-$  — иона до фоновых в газоходных конденсатах. Исследования показали, что усреднение растворов ПК, содержащих хлор-ион и растворов СК, содержание хлора в которых незначительно, с одновременной корректировкой их кислотности сопровождается лабилизацией инертных соединений осмия и позволяет обеспечить при регенерации серной кислоты попутное малозатратное концентрирование осмия из объединенных растворов.



Частичное отведение насыщенного экстрагента на переработку определяется насыщением по суммарному содержанию осмия и рения 1,0 г/л, а последующее извлечение осмия можно осуществить, применяя гидротермальную отгонку после предварительной нейтрализации [1].

Установлено, что при переработке селеновых кеков на технический селен по предложенной схеме с гидрохимическим обогащением [2], осмий концентрируется в нерастворимом остатке и его содержание в остатке сульфитного вскрытия может достигать 0,5 %. Учитывая незначительное количество осадка после извлечения селена, отделение осмия может быть осуществлено отгонкой в сернокислой среде при высоком окислительно-восстановительном потенциале с использованием сильного окислителя для перевода осмия в тетраоксид и улавливания соединения поглотительными растворами, пригодными для получения осмиевых солей.

С целью обеспечения наиболее полного извлечения серебра в раствор при гидрохимическом обогащении селеновых кеков исследовано влияние условий гидрохимической обработки на извлечение цветных металлов и степень обогащения селенистых кеков. Установлено, что выщелачивание водным раствором хлорида натрия ( $C_{NaCl}=290$  г/л) позволяет перевести в раствор до 99 % свинца, однако для повышения степени извлечения серебра более эффективно использование сернокислых растворов.

**Таблица 2.**

**Извлечение элементов в раствор при гидрохимическом обогащении селенистых кеков с использованием растворов NaCl ( $t=80\pm 5^{\circ}C$ ,  $\tau=1$  час, T:Ж=1:20,  $C_{NaCl}=145$  г/л)**

Среда	Извлечение в раствор, %						
	Ag	Pb	Cu	Fe	Ni	Te	Se
Кек комбината «Печенганикель»							
H <sub>2</sub> O	54,5	84,5	4,5	17,5	12,2	<5,0	<0,003
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	94,0	95,6	48,9	27,4	23,7	66,3	<0,023
HCl	23,5	45,5	47,3	35,2	18,9	<24,4	<0,003
Кек комбината «Североникель»							
H <sub>2</sub> O	19,0	89,5	30,7	5,53	51,8	<5,2	<0,022
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,3	88,0	56,0	34,8	82,3	<26,1	<0,003
HCl	10,8	27,9	52,7	31,6	77,8	<35,4	<0,003

Для дальнейшего концентрирования серебра изучена сорбция ионообменными материалами компании Purolite International Limited с различной основностью и функциональными группами. Исследования проводили в статических условиях с использованием модельных и реальных растворов, полученных в результате гидрохимического обогащения селеновых кеков. Установлено, что применение хелатного комплексообразующего ионита Purolite S920, содержащего тиомочевинные группы, в сульфатной форме, обеспечивает извлечение более 90 % серебра, при этом частично сорбируются и цветные металлы (табл. 3), отделение которых необходимо проводить на стадии элюирования.

**Таблица 3.**

**Извлечение элементов в процессе сорбции серебра некоторыми ионитами из сернокислых растворов гидрохимического обогащения кеков ( $t=35\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=1$  час, Т:Ж=1:10, СNaCl=145 г/л)**

Ионит	Степень извлечения, %					
	Ag	Pb	Cu	Ni	Fe	Te
A 530	76,4	18,6	48,3	0,0	6,5	0,0
PFA460/5783	71,2	32,6	58,6	47,2	0,0	100,0
A 510	71,2	12,8	62,1	44,5	40,0	100,0
S920	89,7	19,8	20,7	3,7	5,0	<33,0
S920*	98,6	35,5	21,3	5,8	9,6	н/опр

\*— время контакта 2 часа

Изучено влияние фона цветных металлов на сорбцию серебра и проведена оптимизация процессов сорбции и десорбции. Установлено, что сорбция серебра несколько подавляется присутствием ионов тяжелых металлов, однако степень его извлечения остается достаточно высокой (табл.4), а использование ионита для извлечения серебра из свежих порций раствора гидрохимического обогащения позволяет значительно повысить его содержание в ионообменном материале.

**Таблица 4.**

**Влияние продолжительности процесса и фона цветных металлов на сорбцию серебра из модельных сульфатно-хлоридных растворов ( $t=35\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  $T:Ж=1:5$ ,  $\text{CNaCl}=145\text{г/л}$ ,  $\text{CH}_2\text{SO}_4=100\text{ г/л}$ )**

Продолжительность сорбции, час	Извлечение элементов, %				
	Из чистого раствора	Из раствора с фоном цветных металлов			
		Ag	Ag	Cu	Ni
0,5	96,8	82,5	67,5	7,3	7,4
1,0	98,3	83,6	69,4	5,7	8,2
1,5	$\geq 99,2$	84,1	66,5	6,8	5,6
2,0	$\geq 99,2$	88,1	76,6	12,7	1,3
3,0	$\geq 99,2$	83,8	80,37	17,1	2,61

С целью избирательного выделения серебра из ионита опробован ряд растворов (растворы серной, соляной, азотной кислот различных концентраций, в том числе с добавлением комплексообразователя, водные растворы аммиака, щелочные и тиосульфатные растворы), однако при комнатной температуре во всех случаях степень извлечения серебра была слишком низкой.

Повышение температуры до  $70^{\circ}\text{C}$  позволило извлечь более 60 % серебра с использованием раствора  $\text{HCl}$  (3:1), при этом предварительная обработка ионита раствором серной кислоты ( $\text{CH}_2\text{SO}_4=100\text{ г/л}$ ) позволила отделить от серебра значительную часть цветных металлов и железа. Полученный элюат пригоден для получения соединений серебра известными способами, а ионит после регенерации с переводом с сульфатную форму может использоваться для повторного концентрирования серебра.

Таким образом, проведенные исследования показали, что корректировка растворов серноокислотных отделений по кислотности и содержанию хлор-иона путем смешивания позволяет обеспечить перевод осмия в экстрагируемые соединения и сконцентрировать этот элемент в оборотном экстрагенте для последующего получения осмиевой продукции. С применением методики масс-спектрометрического определения после автоклавного микроволнового разложения, установлено также концентрирование осмия в остатках сульфитного выщелачивания при гидрохимическом обогащении и вскрытии селеновых кеков, при этом остатки являются первичными концентратами для последующей переработки на осмиевую продукцию. С целью концентрирования серебра предложен и

оптимизирован процесс гидрохимического обогащения селеновых кеков, после чего сорбция этого элемента хелатообразующим катионитом Purolite S920 обеспечивает его селективное отделение от основной массы примесей. Полученные результаты могут быть использованы в производстве для обеспечения более комплексной переработки медно-никелевого сырья.

### Список литературы:

1. Арешина Н.С. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Поведение осмия в процессах утилизации промывной серной кислоты медно-никелевого производства и усовершенствование способов его извлечения». — Апатиты. — 2004. — 24 с.
2. Арешина Н.С., Касиков А.Г., Мальц И.Э., Зенкевич Т.Р. Извлечение селена из продуктов газоочистки ОАО «Кольская ГМК»// Цветные металлы. — № 11. — 2011. — с. 62—65
3. Касиков А.Г., Арешина Н.С., Кудряков М.В., Хомченко О.А. Комплексная переработка промывной серной кислоты медно-никелевого производства экстракционным способом // Химическая технология. — 2005. — № 6. — С. 25—31.
4. Трошкина И.Д., Майборода А.Б., Обручников А.В. Экстракция осмия аминами из промывной серной кислоты // Сборник информационных материалов международной конференции «Благородные и редкие металлы». — Донецк. — 1994. — С. 7—8.
5. Mayboroda A., Lang H., Troshkina I.D. and Chekmarev A.M. Behaviour of Os(IV) agvachloro and agvachlorohydroxo complexes in solvent extraction from sulphuric acid media // Proceeding of the international Solvent Extraction Conference, ISEC. — 2002. — P. 928—933.

# ДЕСТРУКЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УЛЬТРАЗВУКОМ

**Фролов Владимир Валерьевич**

*аспирант, ОмГТУ, г. Омск*

*E-mail: [frolovv-55@mail.ru](mailto:frolovv-55@mail.ru)*

**Мозговой Иван Васильевич**

*д-р техн. наук, профессор ОмГТУ, г. Омск*

## ULTRASONIC DESTRUCTION OF HYDROCARBONS

**Vladimir Frolov**

*Postgraduate student of Omsk State Technical University, Omsk*

**Ivan Mozgovoy**

*Doctor of Engineering Science, Professor of Omsk State Technical University, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье описываются возможности осуществления деструкции сжиженных углеводородов при помощи энергии ультразвука с целью получения непредельных углеводородных соединений. На основе литературных данных о влиянии кавитации на химические соединения сделан вывод о перспективности данного направления и предложена схема лабораторной установки для проведения эксперимента. Данная схема позволит выявить степень деструкции углеводородов и количество получаемых данным способом непредельных соединений, а также подобрать оптимальные значения действующих факторов.

### ABSTRACT

This article provides the description of destruction of liquefied hydrocarbons with ultra sound in order to obtain unsaturated hydrocarbons. On the bases of studied material on the subject of influence of cavitating on chemical compounds we came to the conclusion that this is an upcoming trend and we offer the design of the laboratory unit that will let conduct an experiment. This unit will allow determining the destruction level of

hydrocarbons and the quantity of recovered unsaturated hydrocarbons; also it will allow defining the optimal values of the operating factors.

**Ключевые слова:** кавитация; звукохимия.

**Keywords:** cavitating; sonochemistry.

Интенсификация скорости химических реакций в жидкой среде одна из основных задач промышленной химии. Традиционно это достигается повышением концентрации реагентов, повышением температуры или давления, применением дорогостоящих катализаторов.

Ультразвуковая активация — один из современных способов ускорения протекания химических реакций. Следует отметить, что применение ультразвука позволяет не только увеличить скорость химической реакции, но и увеличивает процент прореагировавших веществ. Подвергая ультразвуковой кавитационной обработке жидкую среду можно получить химические реакции невозможные в других случаях.

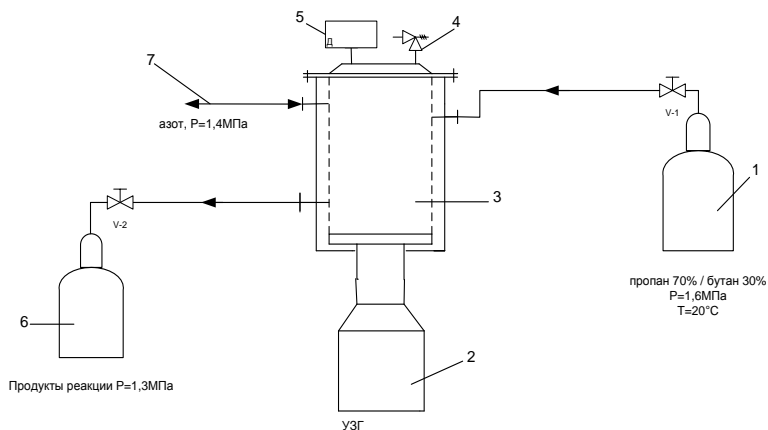
УЗ кавитация — основной инициатор физико-химических процессов, возникающих в жидкости под действием УЗ. Она реализуется за счет трансформации низкой плотности энергии УЗ в высокую плотность энергии вблизи и внутри газового пузырька.

Кавитация — образование в жидкости пульсирующих пузырьков (каверн, полостей), заполненных паром, газом или их смесью. Во многих литературных источниках [1, 3, 4, 5] описываются процессы, протекающие в кавитационных пузырьках. Общая картина образования кавитационного пузырька представляется в следующем виде. В фазе разрежения акустической волны в жидкости образуется разрыв в виде полости, которая заполняется насыщенным паром данной жидкости. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения полость захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены полости в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию. В момент схлопывания, давление и температура газа достигают значительных величин (по некоторым данным до 100 МПа и 10000°C). После схлопывания полости в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве.

Существует ряд разработок и даже действующих лабораторных установок [2, 3] позволяющих осуществить деструкцию углеводородов нефти и увеличить тем самым выход светлых фракций при перегонке.

Не менее перспективной является возможность получения непредельных углеводородов с помощью энергии ультразвука.

С целью проверки данной возможности разработана и собрана лабораторная установка, показанная на рисунке 1. Для проведения эксперимента в качестве углеводородной среды выбрана пропан-бутановая смесь, так как пропан является побочным продуктом многих процессов нефтепереработки, и получение на его основе непредельных углеводородов открывает широкие возможности для нефтехимического синтеза.



**Рисунок 1. Схема лабораторной установки для обработки сжиженного пропана высокочастотным ультразвуком:**

- 1 — баллон с исходной пропан-бутановой смесью;**
- 2 — ультразвуковой генератор УЗГ-2-4;**
- 3 — емкость с волноводом;**
- 4 — предохранительный клапан;**
- 5 — манометр;**
- 6 — баллон для вывода конечного продукта;**
- 7 — подача азота.**

Установка предназначена для осуществления обработки сжиженного газа высокочастотными ультразвуковыми колебаниями с целью создания в жидкой среде режима интенсивной кавитации.

Пропан-бутановая смесь, предварительно проанализированная с помощью хроматографа, при комнатной температуре из баллона 1 с внутренним давлением 1,6 МПа за счет разницы давлений перекачивается в емкость 3. Емкость 3 оснащена ультразвуковым плоским излучателем, смонтированным в корпус и являющимся частью емкости. Емкость 3 также снабжена предохранительным

клапаном Autogas Italia  $P_y=2\text{МПа}$  и манометром ДМ 100-ВУ для регистрации давления.

Далее сжиженный газ подвергается воздействию ультразвуковых колебаний создаваемых генератором 2, работающим от электрической сети с напряжением 380 В. Генератор осуществляет обработку сжиженного газа с характеристиками ультразвука: частота 18 кГц при различной амплитуде колебаний.

По истечении промежутка времени отведенного на обработку воздействие ультразвука прекращают, а получившийся продукт, так же за счет разницы давлений перекачивают в баллон 6. Баллон 6 отсекается от установки и полученную смесь исследуют на содержание в ней пропилена при помощи газового хроматографа.

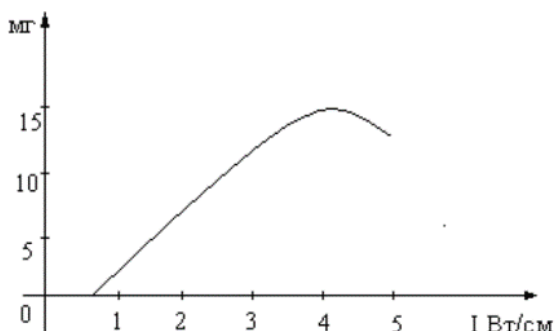
Во время проведения обработки производится контроль давления в системе и регистрация температуры окружающей среды и внутри емкости.

Предполагаемые результаты вероятнее всего будут укладываться в закономерность общую для всех звукохимических реакций. Образование звукохимических процессов открыто более 60 лет назад, однако до сих пор нет единого мнения о природе первичного акта звукохимического процесса. Однако, основные факторы, влияющие на скорость таких реакций, установлены точно [1, 5]:

1. Интенсивность УЗ энергии, приходящей на единицу площади излучателя в озвучиваемой среде.
2. Все реакции начинаются с определенного порога интенсивности УЗ колебаний, и этот порог всегда совпадает с началом кавитации.
3. При превышении определенного порога интенсивности скорость реакций резко убывает.
4. На низких частотах кавитация начинается при меньших интенсивностях и, соответственно, реакции протекают при меньших интенсивностях.
5. Скорость химической реакции (Рисунок 2) определяется скоростью образования и расходования радикалов.

В качестве примера, на рисунке 2 приведена зависимость скорости образования йода из йодида калия от интенсивности УЗ при озвучивании в течение 20 минут.





**Рисунок 2. Зависимость скорости реакций от интенсивности**

Из практики известно, что схлопывание одного кавитационного пузырька приводит к образованию от 10000 до 100000 пар радикалов [1].

Это много больше, чем образуется при ионизирующих излучениях или при фотолизе.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о перспективности разработок связанных с процессами ультразвуковой интенсификации процессов в жидких углеводородных средах.

### Список литературы:

1. Маргулис, М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция [Текст] / М.А. Маргулис. — М.: Химия, 1986. — 300 с.
2. Промтов М.А. Технологии кавитационной обработки нефти и нефтепродуктов // [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3> (дата обращения 03.04.2012)
3. Промтов М.А. Гипотезы деструкции вещества при кавитационном воздействии // [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3> (дата обращения 03.04.2012)
4. Промтов М.А. Кавитация// [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3> (дата обращения 03.04.2012)
5. Эльпинер, И.Е. Биофизика ультразвука [Текст] / И.Е. Эльпинер. — М.: Наука, 1973. — 384 с.

## СЕКЦИЯ 9

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКТОВ С ЗАДАНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМ СВОЙСТВАМИ

*Чугунова Ольга Викторовна*

*канд. техн. наук, доцент УрГЭУ, г. Екатеринбург*

*E-mail: [fecal@el.ru](mailto:fecal@el.ru)*

*Позняковский Валерий Михайлович*

*д-р биол. наук, профессор КемТИПП, г. Кемерово*

#### METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF PRODUCTS WITH SPECIFIED CONSUMER PROPERTIES

*Olga Chugunova*

*Candidate. Technical. Associate Professor of Ural state economic  
university, Ekaterinburg*

*Valery Posnjakovsky*

*doctor of biological Sciences, Professor Kemerovo technological Institute  
of food industries, Kemerovo*

#### АНОТАЦИЯ

В статье рассмотрена система формирования качества продуктов с заданными потребительскими свойствами, предложена «Методика создания новых продуктов с заданными потребительскими свойствами» ориентированных на целевую аудиторию.

## ABSTRACT

The article considers the system of forming the quality of the products with the set of consumer qualities of the «Methodology of creation of the new products with the set of consumer qualities of» focused on the target audience.

**Ключевые слова:** продукты; качество; дескрипторы дегустационный анализ.

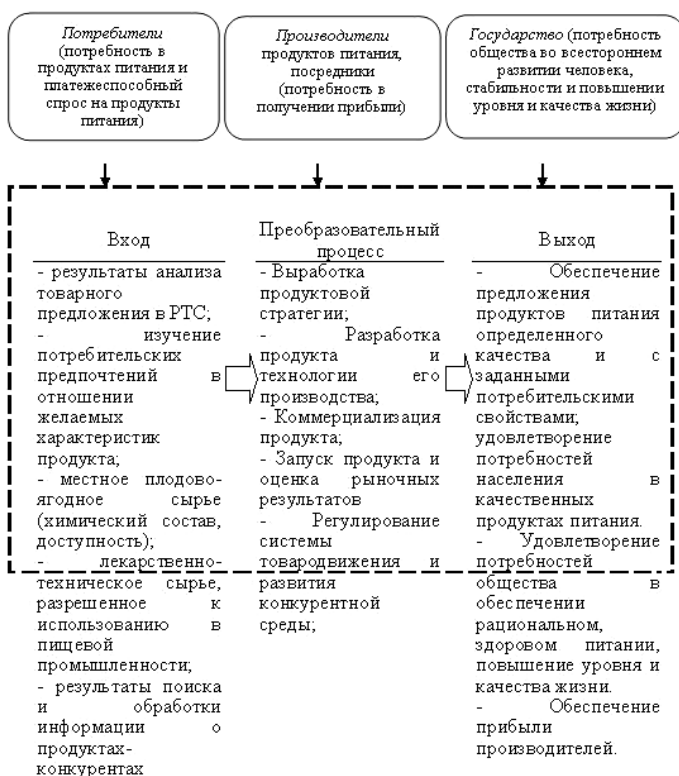
**Keywords:** products; quality; descriptors tasting analysis.

Приоритетными направлениями многих федеральных и региональных программ, направленных на обеспечение полноценного питания населения Российской Федерации, является удовлетворение физиологических потребностей населения в основных продуктах питания и незаменимых нутриентах. Одними из главных направлений в ее решении является создание перспективных технологий разработки продовольственных товаров как систему действий, направленных на удовлетворение потребностей населения региона в качественных и доступных продуктах питания, посредством дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа.

Необходимость разработки новых пищевых продуктов отечественного производства и повышение качества жизни российских граждан путем обеспечения высококачественными и безопасными товарами подтверждают принятые в 2009 г. Стратегия национальной безопасности РФ до 2020 г. и в 2010 г. — Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Таким образом, создание комплекса мероприятий, направленных на удовлетворение потребностей различных групп населения в здоровом питании с учетом их традиций, привычек и экономического положения является актуальным и своевременным [1, 2].

Удовлетворенность потребителя — основной принцип системы менеджмента качества в соответствии с международными стандартами ИСО серии 9000. Выполнение этого принципа непосредственно связано с изучением потребительского спроса, и правильной интерпретацией полученных результатов. В большинстве своем пищевые продукты предназначены для определенных категорий потребителей — для розничной и оптовой торговли, а так же для конечного потребителя. По этому, несмотря на важность технологических свойств, зачастую приоритетными оказываются органолептические характеристики.

При разработке новых продуктов и совершенствовании уже выпускаемых существенное значение имеет оценка потребителями качества продуктов. Эта оценка может отличаться от органолептических характеристик, определенных профессиональной дегустационной панелью. В условиях высокой конкуренции потребительская оценка играет решающую роль в продвижении и продажах продукта. Система формирования качества продуктов с заданными потребительскими свойствами представляет собой систему, характеризующуюся последовательностью процессов и основанную на взаимосвязи и взаимообусловленности всех ее компонентов (рис. 1).



**Рисунок 1. Система формирования качества продуктов с заданными потребительскими свойствами**

С учетом маркетинговых исследований требований и предпочтений потребителей к свойствам продуктов ориентированных на потребителя предложена модель формирования качества продуктов с заданными потребительскими свойствами, их производства, и продвижению на потребительский рынок. Методология представляет комплекс операций, которые можно сгруппировать по признакам — на товароведно-технологические и маркетинговые (рис. 2).



**Рисунок 2. Методологические подходы к разработке продуктов с заданными потребительскими свойствами**

На основании предложенной модели формирования качества продуктов ориентированных на потребителя разработана и апробирована в работе «Методика создания новых продуктов с заданными потребительскими свойствами» ориентированных на целевую аудиторию [3].

Инструментом для определения приоритетных требований потребителей является фокус–группа, соответствующая целевому сегменту разрабатываемого продукта.

Данная методика основана на формировании панели дескрипторов, определении интенсивности и значимости каждого дескриптора, построении графического «портрета» свойств модельного образца и сравнении его с портретом «идеального продукта», построенного ранее на основании анализа предпочтений потребителя. Основные этапы разработки нового продукта с заданными потребительскими свойствами представлена на рис. 3.



**Рисунок 3. Методологическая схема разработки нового продукта с использованием дескрипторно профильного метода дегустационного анализа**

Разработанная «Методика создания нового продукта с заданными потребительскими свойствами» позволяет создать продукт, востребованный целевой аудиторией; позволяет наглядно увидеть качественные характеристики продукта в их количественном выражении и сравнить несколько продуктов между собой;

скорректировать нежелательные оттенки и привкусы вводимых функциональных добавок на стадии разработки рецептуры; разработать рецептуры максимально конкурентоспособного продукта на основании конкретных потребительских предпочтений; оценить сильные и слабые стороны конкурентных продуктов; позволяет сэкономить маркетинговый бюджет предприятия при разработке продукта-новинки за счет конкретизации востребованных органолептических свойств продукта в ходе фокус-дегустации с заданной целевой аудиторией; служит инструментом позволяющим разработать не только новые продукты, но и оптимизировать органолептические качества «морально устаревших» продуктов под современные требования потребителей.

### **Список литературы:**

1. Постановление от 16 июня 2004 г. № 505-ПП О концепции экологической безопасности Свердловской области на период до 2015 года.
2. Тутельян В.А., Шабров А.В., Ткаченко Е.И. От концепции государственной политики в области здорового питания населения России-к национальной программе здорового питания. // Клиническое питание, 2004, № 2. С. 2—4.
3. Чугунова О.В. Использование методов дегустационного анализа при моделировании рецептур пищевых продуктов с заданными потребительскими свойствами [текст]: [монография] / О.В. Чугунова, Н.В. Заворохина; М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2010. — 142 с.

## СЕКЦИЯ 10

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

#### ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ПЛЕНКАМИ

**Алиева Хумар Сабир кызы**

*ученый секретарь, Национальное Аэрокосмическое Агентство  
Азербайджана (НАКА), г. Баку  
E-mail: [a.xumar555@mail.ru](mailto:a.xumar555@mail.ru)*

**Алиева Тамилла Мухтаровна**

*рук.сектора, НАКА, г. Баку  
E-mail: [tamilla\\_ali@mail.ru](mailto:tamilla_ali@mail.ru)*

**Ибрагимова Эльмира Закир кызы**

*инж.-программист, НАКА, г. Баку  
E-mail: [yashil1986@box.az](mailto:yashil1986@box.az)*

**Баширова Айгуль Мамедгасан кызы**

*научный сотрудник, НАКА, г. Баку  
E-mail: [paris2@box.az](mailto:paris2@box.az)*

#### GAS-SENSITIVE ELEMENTS WITH POLYMER FILMS

***Khumar Aliyeva***

*academic secretary, Azerbaijan National Aerospace Agency (NACA), Baku,*

***Tamilla Aliyeva***

*head of sector, NACA, Baku*



*Elmira Ibragimova*  
*software engineer, NACA, Baku*

*Aigul Bashirova*  
*research worker, NACA, Baku*

### **АННОТАЦИЯ**

Приводится сравнение существующих методов и средств мониторинга атмосферы. Основное внимание уделяется используемым в газодетекторах сенсорам. В качестве таких сенсоров чаще всего используются оптические датчики, электрохимические и резистивные на основе металлоксидов. Перспективными с точки зрения потребляемой мощности, простоты изготовления, селективности являются сенсоры на основе проводящих полимеров. Их разработке и изготовлению посвящена настоящая статья. Показана возможность использования сенсоров на основе резистивных элементов с полимерными покрытиями в газодетекторах.

### **ABSTRACT**

A comparison of existing methods and tools for monitoring the atmosphere . Emphasis is placed on the sensors used in gas analyzers. As these sensors commonly are used optical sensors, electrochemical and metal oxide-based resistive elements Promising in terms of power consumption, ease of manufacture, are selective sensors based on conducting polymers. Their design and manufacture of the present article. The possibility of using sensors based on resistive elements with polymer coatings in gas analyzers .

**Ключевые слова:** экология; мониторинг атмосферы; газочувствительный элемент; газоанализатор; окислы азота

**Keywords:** environment; monitoring; gas-sensitive element; gas analyzer; nitrogen oxides

Охрана окружающей среды требует создания приборов и средств для контроля за состоянием атмосферного воздуха, за состоянием воздуха во вредных цехах и предприятиях. Для этих целей созданы различные датчики и системы. В зависимости от существующих условий и необходимых требований они могут дистанционно замерять концентрацию вредных примесей или же замерять концентрацию путем предварительного отбора газового компонента. Соответственно в них используются различные первичные преобразователи, сенсоры:

оптические [1], электрохимические [2], резистивные на основе металлоксидных полупроводников [4].

В последнее время большой интерес вызывают датчики с селективным покрытием на основе полимерных материалов [5]. В качестве таких датчиков могут использоваться как резистивные элементы, так и активные структуры: диоды, транзисторы.

Наиболее просты в изготовлении резистивные чувствительные элементы (ЧЭ) с полимерными покрытиями. По сравнению с резистивными элементами с металлоксидными полупроводниками они работают при относительно низких температурах, вплоть до комнатных, селективны и могут изготавливаться по микроэлектронной технологии.

В качестве полимерных селективных покрытий чаще всего используются фталоцианины [3]. Преимуществом этого класса материалов является их доступность, селективность, высокая хемо и термостойкость.

Указывается на чувствительность фталоцианинов к аммиаку, хлору озону. Однако, в основном, наибольшую чувствительность фталоцианины проявляют к окислам азота ( $\text{NO}+\text{NO}_2$ ) или  $\text{NO}_x$  [6]. Окислы азота являются одним из основных загрязнителей воздуха, поэтому создание надежных ЧЭ для газодетекторов является важной задачей.

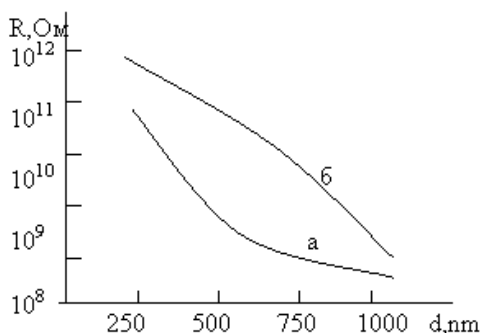
В отличие от промышленно выпускаемых рядом зарубежных фирм и предприятиями России, Украины металлоксидных элементов, ЧЭ с полимерными покрытиями пока широко промышленно не выпускаются. Целью настоящей работы было исследование возможности создания надежных ЧЭ с органическим покрытиями с целью использования их в газодетекторах. В качестве полимерных покрытий рассматривался фталоцианин кремния ( $\text{SiPcCl}_2$ ).

Для создания ЧЭ применялась микроэлектронная технология. На полированной с двух сторон изолирующей подложке, сапфире, методом двухсторонней фотолитографии формировались: с одной стороны резистивный нагреватель, который одновременно выполнял и роль датчика температуры, а с другой — рисунок встречно-включенных гребешков. Расстояние между токоведущими дорожками 20 мкм. В качестве металла встречно-включенных гребешков и нагревателя использовался никель с подслоем ванадия. Толщина металлизации порядка 0,4—0,5 мкм. На гребешки методом вакуумного термического напыления наносились пленки фталоцианинов.

Для обоих типов фталоцианинов были выбраны режимы напыления (температура подложки, температура испарителя,

расстояние от испарителя до подложки, степень вакуума), при которых воспроизводимость результатов наиболее высока.

Измерения проводились при напряжениях менее 10 В, так как при больших напряжениях наблюдался сильный дрейф величины сопротивления. Зависимость величины сопротивления от толщины образца носила нелинейный характер (рис.1).



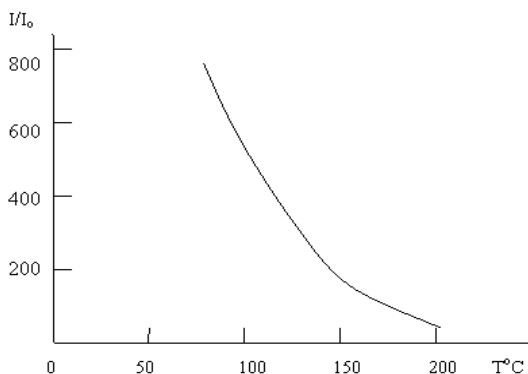
**Рисунок 1. Зависимость величины сопротивления пленок фталоцианина кремния от толщины: а) — при температуре 100°С, б) — при температуре 150°С.**

При исследованиях воздействия окислов азота было определено, что с ростом температуры сильно понижается адсорбционная способность, т. е. при низких температурах чувствительность выше (рис.2).

Однако при низких температурах значительно влияние влаги (рис.3). Поэтому для получения высокой чувствительности и при этом исключении влияния влаги нижним температурным пределом работы ЧЭ должна быть температура 65°С. После этой температуры уходит физически сорбированная вода.

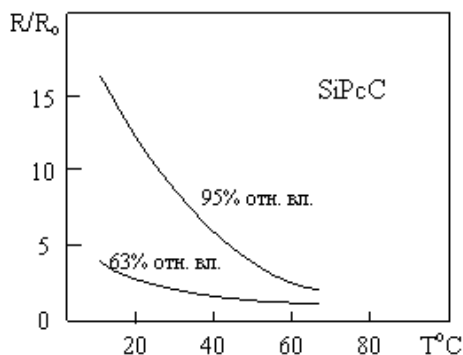
Для определения предельно допустимой температуры нагрева подложки (без ухода и деградации пленки) резистивные элементы вместе с контрольными кварцевыми микровесами длительно выдерживались в термостате. После этого измерялось сопротивление пленки и изменение частоты кварцевых микровесов с пленками фталоцианина кремния. Эксперименты показали, что вплоть до температуры 250°С изменения частоты не наблюдалось, т.е. испарения материала не было. Изменение частоты кварцевых микровесов заметно при температурах выше 260°С. Так, выдержка при температуре 260°С в течение 10 часов приводила к уходу 100 Å материала (т. е. 10Å/час) и соответственно увеличению сопротивления, что связано с

уменьшением толщины пленки. Таким образом, прогрев образцов до температур 230—240°C, для полной десорбции окислов азота относительно «безопасен» для пленок. Т. е. верхним температурным пределом работы ЧЭ с фталоцианином кремния должна быть температура 240.



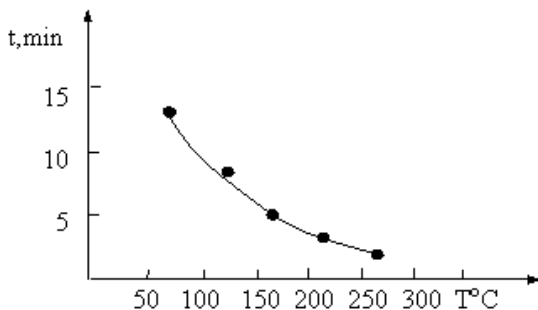
**Рисунок 2.** Зависимость газочувствительности от температуры образца для пленок фталоцианина кремния.

$I_0$  — ток до воздействия  $NO_x$ ,  $I$  — ток при воздействии  $NO_x$  (концентрация  $NO_x$  — 3ppm).



**Рисунок 3.** Зависимость изменение сопротивления резистивных структур на основе пленок  $SiPcCl_2$  от изменения температуры:  $R_0$  — значение сопротивления при влажности 3 %,  $R$  — текущее значение сопротивления

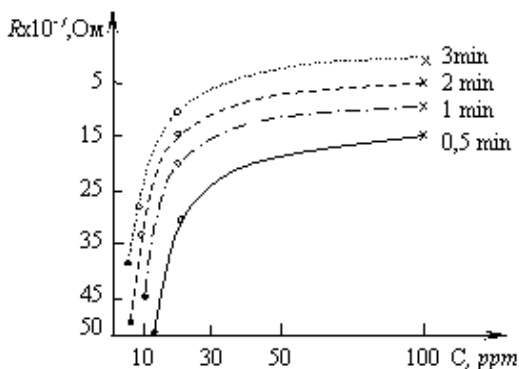
Исследование динамических характеристик показало, что отклик при воздействии окислов азота порядка нескольких секунд при любой температуре, однако восстановление затяжное (10—15 минут). Для ускорения десорбции необходим прогрев образцов до высоких температур. Полная десорбция окислов азота с пленок фталоцианина кремния происходит при температурах выше 230°C (рис. 4).



**Рисунок 4. Зависимость времени восстановления (80 %) от температуры подложки**

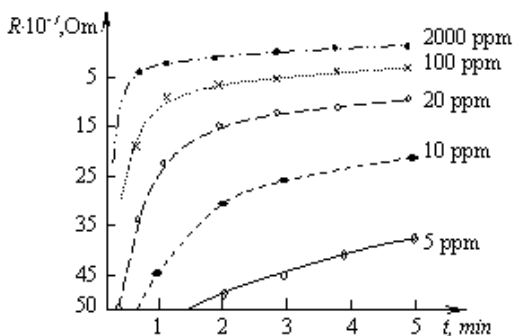
Но при температурах выше 220°C происходит качественное изменение свойств пленок (меняется величина сопротивления, скорость отклика). Поэтому образцы после напыления в обязательном порядке проходили термообработку при температурах 230—240°C для того чтобы в процессе десорбции уже не происходило никаких изменений свойств пленок.

На рис. 5 показана концентрационная зависимость величины сопротивления ЧЭ. Из рисунка видно, что наибольшая чувствительность ( $dR/dC$ ) и линейная зависимость величины сопротивления от концентрации наблюдается в области низких концентраций окислов азота (~до 20 ppm). С увеличением концентрации чувствительность уменьшается.



**Рисунок 5. Зависимость изменения величины сопротивления пленки толщиной 0,5 мкм от концентрации окислов азота при различных временах выдержки при данной концентрации.**

На рис. 6 показана зависимость изменения сопротивления образца от времени при разовом напуске  $\text{NO}_x$ . На рисунке можно выделить два участка: быструю адсорбцию, которая происходит за первые 30 секунд и характеризуется заметным изменением сопротивления, и медленную, с относительно малым изменением сопротивления со временем. Причем на стадии медленной адсорбции разница в величинах сопротивления при разной концентрации окислов азота относительно невелика.



**Рисунок 6. Зависимость изменения сопротивления ЧЭ от времени для пленок толщиной 0,24 мкм при различных концентрации  $\text{NO}_x$ .**

Результаты измерений показали, что фталоцианин кремния ( $\text{SiPcCl}_2$ ) является чувствительным селективным и перспективным материалом для детектирования окислов азота. Для работы в составе газодетекторов наиболее информативным может быть использование режима кинетики адсорбции —  $dR/dt$ , т. е. изменения величины сопротивления со временем на стадии быстрой адсорбции. Чувствительность пленок фталоцианина кремния к окислам азота достаточно высока, и ЧЭ на основе фталоцианина кремния успешно могут использоваться в газоанализе.

### Список литературы:

1. Егоров А.А., Егоров М.А., Чехлова Т.К., Тимакин А.Г. Применение интегрально-оптических датчиков для контроля опасных газообразных веществ // Датчики и Системы, 2008, № 1. С. 25—29
2. Козлов А.Г., Удод А.Н. Сравнительный анализ метрологических характеристик различных типов газовых датчиков на твердых электролитах // Датчики и Системы, 2006, № 1. С. 55—62
3. Муршудли М.Н., Алиева Х.С., Мусаев М.И., Сулейманов С.С. Полимерные материалы в газосенсорике / Труды 6-ой международной НТК «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе». Баку: 2007. С. 122—125
4. Brunet J., Pauly A., Mazet L. et al. Improvement in real time detection and selectivity of phthalocyanine gas sensors dedicated to oxidizing pollutants evaluation // Thin Solid Films, 2005, v. 490, is.1. P. 28—35
5. Guérin J., Bendahan M., Aguir K. A dynamic response model for the  $\text{WO}_3$ -based ozone sensors // Sensors and Actuators B, 2008, v.128, is.2. P. 462—467
6. Yuh-Lang Lee, Chuan-Yi Sheu, Hsiao Rung-Hwa Gas sensing characteristics of copper phthalocyanine films: effects of film thickness and sensing temperature // Sensors and actuators. B, Chemical 2004, vol. 99, is. 2—3. P. 281—287

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ САНИТАРНОЙ АВИАЦИИ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ЦЕНТРА МЕДИЦИНЫ  
КАТАСТРОФ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)  
ЗА 2005—2010 ГГ.**

*Рожина Евдокия Гавриловна*

*студент, ФГАОУ ВПО «СФВУ», г. Якутск*

*E-mail: [Rozhina-90@mail.ru](mailto:Rozhina-90@mail.ru)*

*Иванов Алексей Алексеевич*

*канд. биол. наук, доцент кафедры «Защита в ЧС»,  
ФГАОУ ВПО «СФВУ», г. Якутск*

**ACTIVITY OF SANITARY AIRCRAFT OF THE  
TERRITORIAL CENTER OF MEDICINE OF ACCIDENTS  
OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)  
FOR 2005—2010**

*Evdokiya Rozhina*

*student of Northeast federal university, Yakutsk*

*Alexey Ivanov*

*Candidate. Biological, Associate Professor «Protection in an emergency»,  
Northeast federal university, Yakutsk*

**АННОТАЦИЯ**

Основными проблемами санитарной авиации по Республике Саха были и остаются: большое расстояние между районами, отсутствие в некоторых деревнях врачебных пунктов, дорог, оборудованных вертолетных площадок для ночных полетов, малочисленность воздушных судов, а также отсутствие в районах определенных врачей специалистов. Отсюда можно сделать вывод, что уровни доступности, эффективности и качества медицинской помощи в Республике крайне низкие. С этим надо бороться с помощью внедрения организационных моментов в лечебно-профилактических учреждениях Республики Саха (Якутия).



## ABSTRACT

The main problems of sanitary aircraft on the Republic of Sakha were and remain: big distance between areas, absence in some villages of medical points, the roads, the equipped helipads for night flights, small number of aircrafts, and also absence in regions of certain doctors of experts. From here it is possible to draw a conclusion that levels of availability, efficiency and quality of medical care in the Republic the lowest. With it is necessary to struggle with the help of introduction of the organizational moments in treatment-and-prophylactic establishments of the Republic of Sakha (Yakutia).

**Ключевые слова:** санитарная авиация; медицина катастроф.  
**Keywords:** sanitary aircraft; medicine of accidents.

Республика Саха (Якутия) — это самый крупный регион России. Расположена в северо-восточной части Азиатского континента, в бассейне рек Лены, Яны, Индигирки, низовьях реки Колымы.

Площадь Якутии — 3103,2 тыс. кв. км — 18,2 %, или 1/5 часть территории России. Территория Якутии находится в пределах трех часовых поясов. Местное время внутри республики на 6,7 и 8 часов опережает московское.

Климат в республике резко континентальный. Климатические условия Республики Саха (Якутия) отличаются наибольшими различиями между зимними и летними температурами воздуха. Зимой температура может опуститься до минус 60 градусов, а летом дойти до плюс 40 градуса. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,2 градуса по Цельсию.

Республика включает в себя 36 муниципальных образований: 34 муниципальных района и 2 городских округа. В состав муниципальных районов в свою очередь входят городские и сельские поселения (наслег), общее число наслегов составляет 365, в том числе 31 национальный.

В этих условиях оказание экстренной медицинской помощи населению республики, по линии службы санитарной авиации занимает огромное значение.

В течение долгих десятилетий основными проблемами санитарной авиации по Республике Саха были и остаются:

1. Большое расстояние от пункта базирования воздушного судна санитарной авиации до пункта, где необходима скорая специализированная (санитарно-авиационная) медицинская помощь;

2. Отсутствие в некоторых, отдаленно стоящих от районного центра, деревнях врачебных пунктов или больницы;
3. Отсутствие дорог не только в труднодоступных северных районах, но также в центральных районах;
4. Малочисленность воздушных судов в пропорции к масштабам Республики;
5. Старение вертолетного парка;
6. Отсутствие оборудованных вертолетных площадок для ночных полетов;
7. Отсутствие в районах определенных врачей специалистов, а так же отсутствие элементарного медицинского оборудования для постановки диагноза, лечения больного, не говоря о высокотехнологичной медицинской помощи.

Санитарно-авиационная скорая медицинская помощь является основным функциональным звеном территориального центра службы медицины катастроф. Центральная станция расположена в г. Якутске, с филиалами санитарной авиации в г. Мирный, г. Нюрба, р.п. Батагай, г. Среднеколымск, п. Верхнеколымск, и с местами базирования воздушных суден п. Тикси, п. Чульман, п. Депутатский.

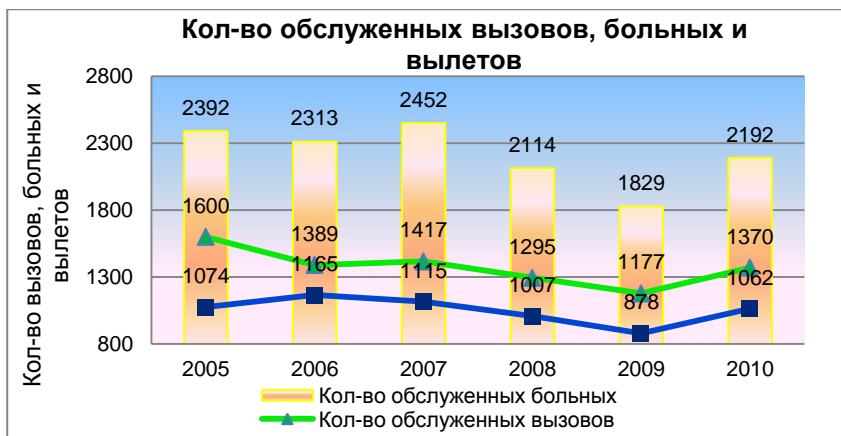
**Таблица 1.**

**Количество обслуженных вызовов и больных за 2005—10 гг.**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Кол-во обслуженных вызовов	1600	1389	1417	1295	1177	1370
Кол-во обслуженных больных	2392	2313	2452	2114	1829	2192
Кол-во вылетов	1074	1165	1115	1007	878	1062

В среднем, за последние годы отмечается некоторое снижение количества обслуженных вызовов с 1600 вызова в 2005 году, до 1177 вызова — рекордно низким в 2009 году.

Для сокращения вызовов до оптимального количества и изменению структуры вызовов, по оптимизации расходов санитарной авиации в течение последних четырех лет, применялась практика совмещения санитарных заданий, доставка специалистов рейсовыми самолетами, наземным транспортом. В результате отмечено снижение количества санитарных вылетов до минимального оптимального количества. Таким образом, утвердился коэффициент оказания скорой специализированной (санитарно-авиационной) медицинской помощи 1,4 на 1000 населения.



*Рисунок 1. Кол-во обслуженных вызовов, больных и вылетов в 2005—2010 гг.*

Из общего количества санитарных заданий преобладают внутрирайонные перевозки, т.е. эвакуация больных и пострадавших с наслогов в центральные районные больницы. Наибольшее количество вызовов поступают из Кобяйского (126), Среднеколымского (102), Булунского (100) улусов. Если в среднем по республике обращаемость в санитарную авиацию составляет 1,4 на 1000 населения, то в основном лидируют улусы, в которых зачастую отсутствует дорожное сообщение с центральной районной больницей.

*Таблица 2.*

**Расходы санавиации за 2005—10 гг.**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Количество вылетов	1074	1165	1115	1007	878	1062
Фактические расходы, млн.руб.	239,70	230,70	299,30	356,85	379,71	485,45

Темп роста расходов санитарной авиации представлен на рисунке 2. Средний коэффициент роста равен 1,14, несмотря на то, что общее количество вызовов остается на прежнем уровне. В процентном соотношении рост расходов санитарной авиации с 2005 г. до 2010 г. возросло 102,5 %.



*Рисунок 2. Расходы санавиации в 2005—10 гг.*

Выше были даны основные проблемы организации санитарно-авиационной медицинской помощи пострадавшим. Отсюда можно сделать вывод, что уровни доступности, эффективности и качества медицинской помощи в Республике крайне низкие. С этим надо бороться с помощью внедрения организационных моментов в лечебно-профилактических учреждениях Республики Саха (Якутия).

Предлагаю следующие организационные методы:

1. Необходимо реорганизовать процесс оказания медицинской помощи пациентам. Для этого нужно:

- сбалансировать объемы помощи с возможностями государства, ресурсами медицинских учреждений;
- увеличить количество медицинских кадров и квалификацию специалистов;
- повысить транспортную доступность;
- провести работу с населением с целью осознания обществом проблем здоровья и профилактики.

2. Необходимо увеличить доступность высококвалифицированной медицинской помощи населению. Для этого следует:

- расширить объемы первичной медицинской помощи на уровне первичного звена здравоохранения;
- развить замещающие стационарные технологии;
- повысить квалификацию врачей (хирургов, анестезиологов, травматологов) чаще вызывающих районов;
- провести работу о приобретении вездеходной техники в каждом районе, для снижения количества санитарных заданий и экономии бюджетных средств.

### **Список литературы:**

1. Журнал учета. Санитарная авиация. ГУ РЦМК МЗ РС(Я) . 2005—2010



## «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»

Материалы X международной заочной научно-практической  
конференции

28 мая 2012 г.

Под редакцией канд. техн. наук Якова Аркадьевича Полонского

Подписано в печать 24.04.12. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 10,375. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3