

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ**

**СБОРНИК ТРУДОВ  
XVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**9–13 апреля 2012 г.**

В трех томах

**Том 3**

Томск 2012

УДК 62.001.001.5(063)

ББК 30.1л.0

C56

**С56** **Современные техника и технологии:** сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 3 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 447 с.

Сборник содержит научные статьи студентов, аспирантов и молодых ученых – участников ежегодной Международной конференции «Современные техника и технологии», разделенные по научным направлениям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, преподавателей, исследователей в сфере энергетики, электромеханики, приборостроения, машиностроения, медицинской техники.

**УДК 62.001.001.5 (063)**

**ББК 30.1л.0**

#### **Редакционная коллегия сборника**

**Зольникова Л.М.**, нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции

**Сидорова О.В.**, эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ

**Потылицын А.П.**, д.ф.-м.н., профессор, зав.кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8

**Кулешов В.К.**, д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9

**Заворин А.С.**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСИПГУ ЭНИН, председатель секции 10

**Кухта М.С.**, д.ф.н., профессор каф. АРМ ИК, председатель секции № 11

**Громов А.А.**, д.т.н., профессор каф. ТСН ИФВТ, председатель секции 12

**Степанов А.А.**, д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы.**

Издание осуществлено при финансовой поддержке фонда РФФИ

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет», 2012

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2012

---

---

## **СЕКЦИЯ 8**

---

---

# **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ**



## УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРЕВА ПОДЗЕМНЫХ ПЛАСТОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Аверьянов С.В., Мартемьянов С.М.

Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

По имеющимся оценкам, запасы нефти и природного газа составляют лишь около 15% общих ресурсов органического топлива в мире, а на долю угля, горючих сланцев и торфа приходится примерно 85%. В связи с этим необходимо большее внимание уделять методам получения жидких и газообразных топлив из твердых полезных ископаемых. В первую очередь – путем освоения месторождений горючих сланцев, запасы которых составляют около  $7 \cdot 10^{13}$  т [1]. В данном случае возникает ряд проблем, связанных с переработкой и добычей горючих сланцев. Основной проблемой является то, что производить разработку горючих сланцев открытым способом (карьерным) либо шахтным (подземным) экономически невыгодно. В связи с этим целесообразно обеспечить конверсию керогена (твердого органического вещества породы) в жидкие и газообразные углеводороды на месте залегания пласта, другими словами произвести подземную газификацию.

Для осуществления подземной газификации существует ряд методов пиролиза органической части породы [2-6], большинство из которых малоэффективны при получении топлив в промышленных масштабах. По этой причине был предложен альтернативный метод нагрева подземного пласта электрофизическим способом.

Проведенные исследования, а так же математическое моделирование процесса нагрева подземных пластов электрофизическим способом, дало предположение о возможности осуществления эксперимента в полевых условиях на объекте. Нагревать подземный пласт на объекте слишком рискованно в связи с тем, что условия, а так же технические параметры самого пласта могут отличаться от тех, которые были заложены в математическую модель. По этой причине целесообразно в первую очередь провести экспериментальное моделирование в лабораторных условиях. Для этих целей возникла необходимость в экспериментальной установке, с помощью которой можно провести нагрев образца породы, содержащей углеводороды, а так же изменять параметры нагрева и производить в последующем отбор газа, полученного в ходе пиролиза органической части образца. Основным требованием к установке является имитирование условий подземного пласта, т.е. создание необходимых параметров по давлению и теплопереносу как в подземной формации, содержащей кероген.

Основу установки составляет камера низкого/высокого давления (рис.1), высоковольтный генератор, вакуумная система, система контроля

температуры образца, система напуска газа для создания избыточного давления.

Камера низкого/высокого давления состоит из цилиндрического корпуса 1, в котором предусмотрены смотровые окна 2, для оптических наблюдений за образцом. На фланце 3 установлены вводы высокого напряжения 4. В верхней части камеры смонтированы вводы 5 для подключения термопары. Так же в верхней части камеры установлен вакуумметр 6, с помощью которого осуществляется контроль над давлением в камере. Для предотвращения разрыва камеры от избыточного давления предусмотрен защитный клапан 7. В нижней части камеры установлена система напуска газа 8 для создания избыточного давления в камере (рис.1, в). Система необходима для выполнения условий по давлению, которое под землей выше атмосферного. Также в нижней части установлен шланг 9 для отбора пробы получаемого газа. Для откачки воздуха из камеры при подготовке эксперимента используется шланг 9 и вакуумный насос.

Для имитации условий распространения тепла в подземном пласте используется ИК экран, расположенный на внутренней поверхности камеры. С его помощью уменьшается отвод тепловой энергии с поверхности образца, что приближает условия эксперимента к условиям подземного пласта. Корпус камеры и фланцы изготовлены из нержавеющей стали. В качестве смотровых окон может использоваться кварцевое или орг. стекло. Высоковольтные вводы представляют собой стержни, на торцах которых имеются контакты для подключения генератора снаружи камеры, и проводов соединяющих электродную систему внутри камеры. Роль изоляции высоковольтного ввода выполняет керамический цилиндр, способный выдерживать амплитуду напряжения до 10кВ, который одновременно герметизирует объем камеры. Вводы под термопару так же выполнены из керамики. Вакуумметр рассчитан на давление от  $-1 \text{ кгс/см}^2$  до  $3 \text{ кгс/см}^2$ . Защитный клапан, необходимый для сброса избыточного давления, рассчитан на  $3,1 \text{ кгс/см}^2$ . После превышения данной отметки клапан открывается и тем самым предотвращает разрыв корпуса камеры. Левый и правый фланцы укреплены ребрами жесткости, которые необходимы для предотвращения деформации боковых стенок. Система напуска газа состоит из баллона высокого давления, в котором должен содержаться инертный газ (азот, аргон, гелий), шланга и вентилля. Для откачки воздуха в рабочей зоне используется вакуумный насос НВР-5Д. Исследуемый ма-

териал помещается в камеру с размером рабочей зоны 410x420мм<sup>2</sup> (рис.1, б).

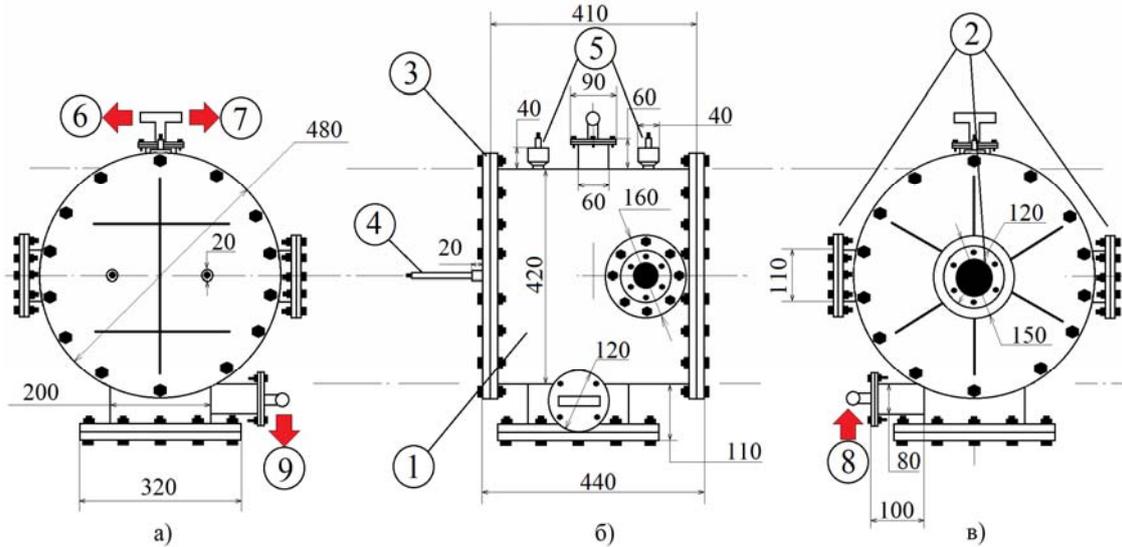


Рис.1. Эскиз экспериментальной камеры для моделирования нагрева подземных пластов  
1 – корпус камеры; 2 – смотровые окна; 3 – фланец; 4 – высоковольтный ввод; 5 – вводы под термопару;  
6 – вакуумметр; 7 – защитный клапан; 8 – система напуска газа; 9 – шланг для отбора проб газа.

На рис. 2. приведена типовая схема проведения эксперимента в камере. Для осуществления эксперимента необходимо подготовить образец породы 3, который бы соответствовал размерам рабочей зоны камеры. Подготовленный образец с электродной системой 1 и термопарой 2 помещается в рабочую зону камеры на подставку 5. Камера с образцом закрывается и производится откачка воздуха, а затем создание избыточного давления с помощью инертного газа. Для моделирования условий по теплопередаче в пласте, предусмотрен ИК экран 4.

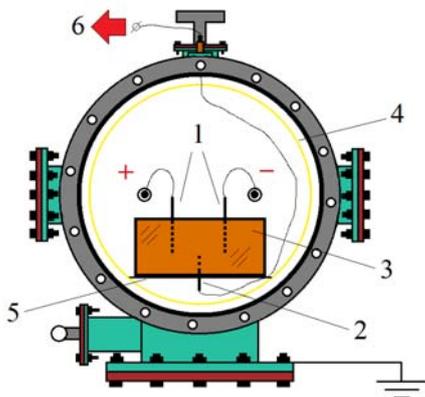


Рис. 2. Осуществление эксперимента в камере  
1 – электродная система; 2 – термопара; 3 – образец породы; 4 – ИК экран; 5 – подставка; 6 – измерение температуры.

Электродная система через высоковольтные вводы подключается к высоковольтному генератору. Для регистрации формы и амплитуды прикладываемого напряжения используется резистивно-емкостной делитель напряжения, сигнал с которо-

го поступает на осциллограф. Температура образца измеряется с помощью термопары, расположенной внутри образца, а так же устройства, преобразующего сигнал с термопары в цифровое значение температуры. Отбор пробы газа, полученного в ходе нагрева образца, осуществляется из резинового шланга с помощью шприца (рис. 1, а).

Таким образом, описанная установка в достаточной степени имитирует условия залегания подземных пластов по давлению и теплопередаче. Преимуществом установки является то, что установка выдерживает тепловой нагрев образца до 600°C. Описанная установка работает без перебоков и ремонта с момента её изготовления по настоящее время.

#### Список литературы:

1. Волков, В. Н. Основы геологии горючих ископаемых. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. – 261с.
2. Van Meurs P., DeRouffiguan E.P., Vinegar H.J., and Lucid M.F. Conductively heating a subterranean oil shale to create permeability and subsequently produce oil, 1989. U.S. Patent 4 886 118.
3. Stevens A.L., Zahradnik R.L. Results from the simultaneous processing of modified in situ retorts 748, Gary J.H., ed., 16<sup>th</sup> Oil Shale Symp., CSM, 1983. p. 267-280.
4. Salasonsson G. The Ljungstrom in situ method for shale-oil recovery, Sell G., ed., Proc. Of the 2<sup>nd</sup> Oil Shale and Cannel Coal Conf., v.2, Glasgow, Institute of Petroleum, London, 1951. p. 260-280.
5. Патент РФ № 2349745, МПК E21B43/24, Опубликовано: 20.03.2009
6. Патент US № 011905, МПК E21B43/24, Опубликовано: 30.06.2009.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Антони Н.Е., Чурсин Ю.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр.Ленина 30

E-mail: [antoni84@mail.ru](mailto:antoni84@mail.ru)

Томская область – один из экологически неблагоприятных регионов России. Наибольший риск возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций характерен для территорий, где ведется промышленное производство – это Сибирский химический комбинат (СХК), Томский нефтехимический комбинат (ТНХК), предприятия оборонной промышленности и др.

Проведя аналитический обзор литературных источников систем общего мониторинга и АСКРО [1–4], выделили основные нерешенные проблемы для большинства систем мониторинга регионов России: моральное устаревание, недостаточная достоверность (низкая точность) получаемых данных, низкая надежность, высокая стоимость эксплуатации, узкая специализация (мониторинг отдельных параметров, отсутствие общих координационных центров (отсутствие охвата всего региона)).

С учетом выше сказанного, были определены наиболее важные требования при построении региональной системы радиационного и экологического мониторинга:

- передача информации должна осуществляться по радиоканалу;
- радиоканал связи должен быть достаточного радиуса действия, способный покрыть весь контролируемый регион;
- система должна позволять использовать практически любые современные стандартные или специализированные датчики контроля окружающей среды;
- необходимо наличие нескольких каналов передачи информации;
- необходим единый протокол обработки данных, за счет использования которого система мониторинга может быть состыкована с объектовыми системами радиационно-химического мониторинга, получающими информацию с датчиков по кабельным каналам.

Исходя из выше перечисленных критериев и проведенного анализа, для экологического мониторинга окружающей среды наиболее предпочтительной является система, реализуемая на основе системы SkyLink, основными характеристиками которой являются:

- радиоканал со штатным радиусом действия порядка 100км;
- низкое энергопотребление структурных элементов системы. Датчики SkyLink могут работать без смены комплекта батарей не менее 5 лет;

- построение датчиков экологического мониторинга осуществлено на базе универсальной телеметрической платформы (УТР), позволяющей преобразовать сигналы, как от цифровых источников информации, так и от аналоговых датчиков в стандартный сигнал, передаваемый на информационно-аналитический центр;
- система мониторинга SkyLink за счет использования единого протокола обработки данных может быть состыкована с объектовыми системами радиационно-химического мониторинга, получающими информацию с датчиков по кабельным каналам;
- при помощи программного обеспечения, входящего в систему SkyLink может быть организован анализ и авторизованная передача информации как заинтересованным организациям (управление ГО и ЧС, ЦГСЭН, Администрация), так и центральному информационно-аналитическому центру.

Также значительную роль играет число постов контроля АСКРО. Существует метод вычисления необходимого и достаточного количества датчиков, способных зарегистрировать факел выброса при возникновении ЧС на объекте с учетом метеорологических условий, определяемых категорией устойчивости из класса устойчивости модели Пасквилла–Гиффорда и порога чувствительности датчиков МЭД.

Способ Пасквилла–Гиффорда основан на измерении скорости ветра на высоте 10 м и качественной оценке инсоляции в дневное время и облачности в ночной период. Для Томской области среднегодовая скорость ветра на высоте 10 метров примерно равна 3,16 м/с [5]. Таким образом, для Томской области, категория устойчивости атмосферы которой – класс С, необходимое число датчиков, необходимое для регистрации факела выбросов при любом направлении ветра и чувствительности датчика гамма-излучения  $(D\gamma)_{\min} \approx 0,02$  мкЗв/ч (датчик GammaTRACER системы SkyLink) для радиуса ССЗ до 3 км количество датчиков  $N_d$  составляет 4 – 5 штук.

Оптимальное количество датчиков рассчитывается для каждого объекта строго индивидуально, с учетом радиуса санитарно-защитной зоны, входящего в формулу

$$N_H = \left[ \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{2 \cdot \delta} \right] = \left[ \frac{\pi \cdot R}{\delta} \right],$$

где R – радиус датчика.

В виду того, что при сложившейся в регионе ситуации невозможно полностью отказаться от старого оборудования, предлагается технологическая схема АСЭМ, в которой действующая на территории Томской области система мониторинга будет функционировать в составе разрабатываемой системы.

Технологическая схема комплексной безопасности Томской области представлена на рисунке 1.

Исходя из технологической схемы, особенностей территории Томской области, а также способа, описанного выше и позволяющего определить оптимальное количество гамма-датчиков, необходимое для регистрации факела выбросов при любом направлении ветра, можно определить приблизительное количество и расположение постов контроля разрабатываемой автоматизированной системы экологического и радиационного мониторинга.

Всего в Томской области планируется задействовать 50 постов контроля с датчиками различного типа: датчики химического наблюдения, датчики

гидрологического наблюдения, датчики радиационного контроля и датчики метеонаблюдений.

**Список литературы:**

- 1 АСКРО Томской области // Официальный сайт ОАО «Союзатомприбор». 2011. URL: [http://sapmonitoring.ru/паиспэм\\_томск.htm](http://sapmonitoring.ru/паиспэм_томск.htm) (дата обращения: 27.01.2011).
- 2 Автоматизированная система контроля радиационной обстановки // НТЦ «РИОН». 2009. URL: <http://www.ntcrion.spb.ru/azos.html> (дата обращения: 25.01.2011).
- 3 Мониторинг Томской области // Официальный сайт Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. – 2011. URL: <http://www.green.tsu.ru/dep/monitoring/> (дата обращения: 25.10.2011).
- 4 Продукция компании «Saphymo GmbH» // Официальный сайт компании ООО «Saphymo GmbH». 2011. URL: <http://www.saphymo.com/> (дата обращения: 27.10.2011).
- 5 Метеоданные для Томской области URL: <http://tomsk-meteo.ru/tomsk/pivot/wind> (дата обращения: 15.12.2011).

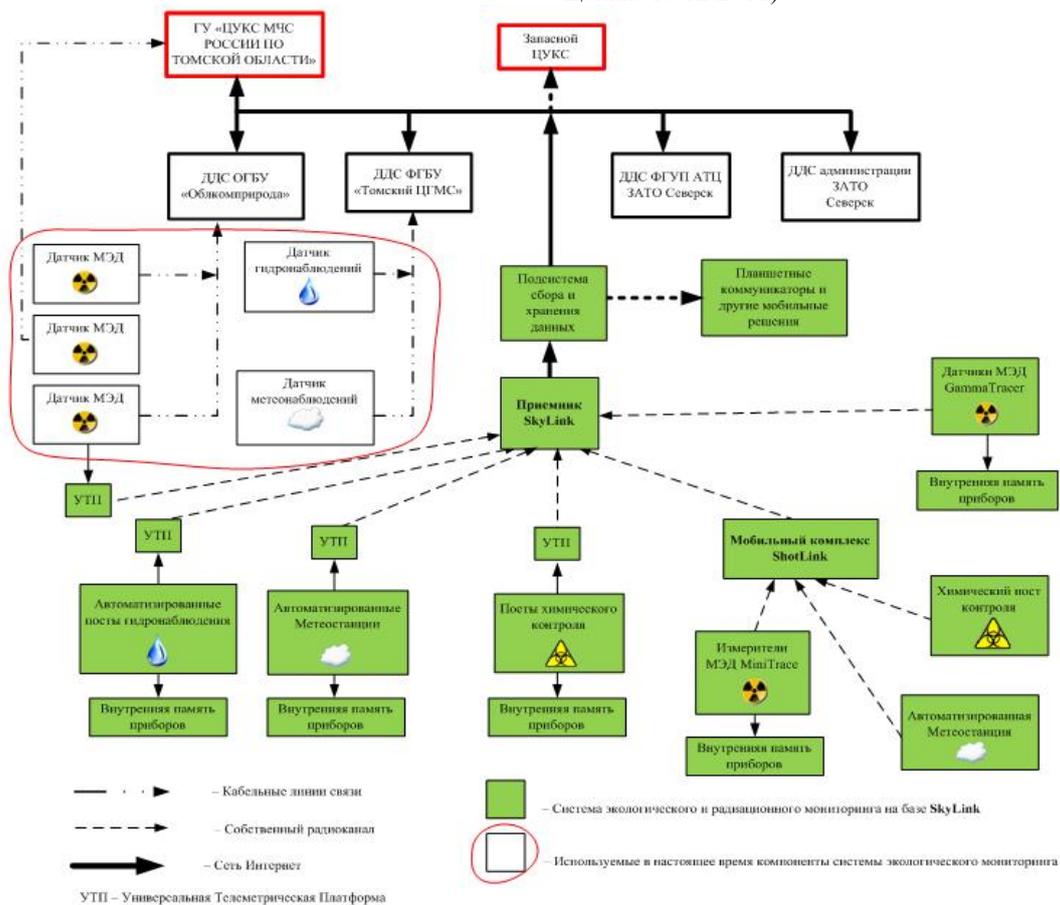


Рис.1. Технологическая схема комплексной безопасности Томской области

## ОСОБЕННОСТИ ГИБКИХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН И ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЮ

Балашков В.С., Вергун А.П., Дрогалев А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30.

E-mail: [balashkov\\_vit@mail.ru](mailto:balashkov_vit@mail.ru)

Изотопная продукция в настоящее время широко применяется в ядерной энергетике, науке, технике, различных отраслях промышленности. Решение целого ряда научных проблем в сильной степени зависит от разработки эффективных способов получения моноизотопных веществ.

Важные аспекты рассматриваемых здесь положений связаны с вопросами экологии. Предлагаемые новые разделительные процессы должны быть малоотходными или безотходными, использующими вещества, значительно сокращающие или полностью исключающие вредное влияние на окружающую среду.

Проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований процессов изотопного разделения имеет важное научное и практическое значение, обусловленное потребностями атомной промышленности. [1,2]

Разработка эффективных способов разделения изотопных и ионных смесей требует проведения комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Обменные, мембранные и электроионитные процессы являются перспективными в плане разработки новых технологий разделения и тонкой очистки веществ. [3,4,5]

Исследования в области изотопного обмена направлены на изучение эффективных способов разделения изотопов и ионов с близкими свойствами.

В данной работе рассматривается метод разделения ионных и изотопных смесей, основанный на сочетании обменных и электрохроматографических процессов с применением ионообменных материалов. Процесс разделения протекает в 2-х колоннах. (Рис.1)

В первой колонне происходит разделение при изотопном обмене в условиях противотока фаз. Обращение потоков производится с помощью электродиализатора с ионообменными мембранами. Второй процесс связан с работой ионообменной колонны при противоточной электрохроматографии. Число переноса разделяемых ионов существенно возрастает при использовании электродиализатора в катодной части колонны. После попадания в электрохроматографическую колонну разделяемые ионы начинают мигрировать к катоду. Т.к. ионы имеют разные подвижности, то будет наблюдаться эффект разделения. Этот эффект усиливается, если использовать противоток, равный средней скорости движения фронта разделяемых ионов. Кроме того электродиализный аппарат обеспечивает увеличение степени разделения ион-

ных и изотопных смесей. Отбор обогащенного продукта производится в катодной камере.

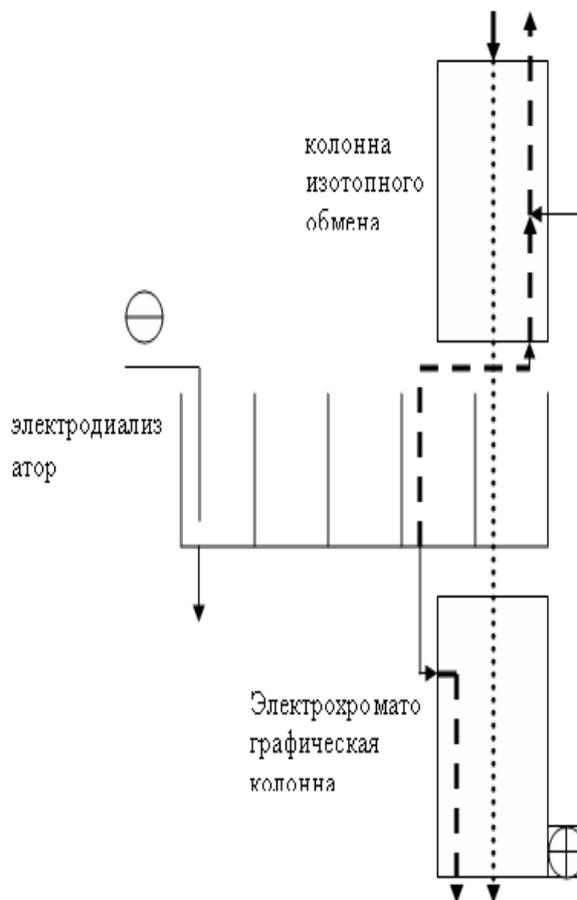


Рис. 1 Схема установки

Обменные и электроионитные разделительные процессы можно отнести к гибким технологическим системам, так как они позволяют переходить от выпуска

Одной изотопной продукции к другой с минимальной

Переналадкой оборудования.

Разделительный процесс осуществляется с применением асимметричного тока. При компьютерном моделировании рассматриваемого процесса разработана программа, позволяющая рассчитать величины ВЭТТ процессов разделения, оценить размеры электродиализного аппарата для обращения потоков фаз, определять требуемую скорость противотока в устройстве, рассчитывать распределение концентраций, производить оптимизацию процесса. [6]

Разработанные компьютерные программы дают возможность анализировать работу установки в стационарных и нестационарных условиях. При

нестационарном режиме эффективность установки оценивается путем анализа флуктуаций основных параметров.

ВЭТТ для электрохроматографической колонки, рассчитанная программой, оказалась порядка 0,1-0,4 см (в зависимости от исходных данных), а для колонки изотопного обмена  $0,6 \div 1,2$  см, что согласуется с опытными данными.

В экспериментальных исследованиях достигнута степень разделения изотопов щелочных элементов равная 1,15. При разделении ионов лития и натрия она составила величину 2,96. В случае каскадирования установок предложенные программы позволяют рассчитывать распределение потока и концентрации выделяемого изотопа по ступеням.

Моделирование разделительных процессов проводили также с применением методов планирования экстремальных экспериментов. В этом случае математическая модель представляется в виде полинома. Такой вид модели позволяет не только учесть разнообразие факторов, влияющих на основные показатели процесса, но и оценить вклад каждого фактора в величину функции отклика. [7,8]

Использование методов планирования экстремальных экспериментов применительно к изучаемой разделительной системе позволяет сократить объем экспериментальных исследований. Это обстоятельство является важным с учетом большой длительности экспериментов по разделению изотопов.

При планировании экспериментов в качестве функции отклика использовалась степень разделения. Факторами являлись: концентрация раствора в разделительной установке, скорости противотока раствора и ионита, напряжение электрического поля. Проведена проверка полученной модели на адекватность.

Полученная информация позволяет определять оптимальные условия процессов разделения изотопов в рассматриваемых условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Изотопы: свойства, получение, применение / Под. ред. В.Ю. Баранова. – М.: Издат. АТ., 2000. – 704 с.
2. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Катальников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.
3. Вергун А.П., Пуговкин М.М., Шаров Р.В. Разделение изотопов и тонкая очистка веществ электроионитными и обменными методами. Учебное пособие. Томск, ТПУ, 2000. – 68 с.
4. Дубяга В.П., Бесфамильный И.Б. Нанотехнологии и мембраны (обзор) // Мембраны. – 2005. – №3 (27). – С. 11–16.
5. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. Разделительные процессы с применением ионообменных материалов: Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2002. – 121 с.
6. Тихомиров И.А., Вергун А.П. Разработка, моделирование и оптимизация электрохроматографических и обменных методов разделения изотопов и очистки веществ // Известия высших учебных заведений «Физика»,-2000.-№5,-с.116-120
7. Балашков В.С., Вергун А.П. Моделирование и оптимизация гибких обменных и электроионитных систем изотопного разделения // Известия высших учебных заведений «Физика»,-2010.-№11/2,-с.154-157.
8. Степанов А.С., Вергун А.П., Власов А.В., Балашков В.С. Разделение изотопов с применением монополярных ионитов, смешанного слоя и электрохимического обращения потоков фаз// Известия высших учебных заведений «Физика»,-2010.- №11/2,-с.189-193.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВБЛИЗИ МИШЕНИ

Блеко В.В., Соболева В.В., Шевелёв М.В.

Научный руководитель: Науменко Г.А., д.ф.-м.наук

Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [bleko\\_vitold@mail.ru](mailto:bleko_vitold@mail.ru)

### Введение

Эффект ИВЧ, состоит в том, что заряженная частица (электрон) движущийся в среде с показателем преломления  $n$ , с постоянной скоростью  $v$ , излучает электромагнитные волны в непрерывном спектре и в узком конусе. При этом излучение имеет место только в случае, если скорость частицы  $v$  превышает фазовую скорость света  $v_\phi = \frac{c}{n}$ , в этой среде. Вектор излучаемых волн  $k$  образует со скоростью  $v$  угол  $\theta$ :

$$\cos \theta = \frac{c}{v \cdot n} \quad (1)$$

При прохождении заряженной частицы, возле мишени конечных размеров, поле этой частицы поляризует среду в области  $\gamma\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны регистрируемого излучения. В этом случае ИВЧ генерируется без непосредственного взаимодействия заряженных частиц со средой [1]. Данная работа посвящена исследованию излучения Вавилова-Черенкова в геометрии, когда релятивистская заряженная частица не пересекает материал мишени, а пролетает вблизи неё.

### Экспериментальная установка

В работе представлены результаты эксперимента на выведенном пучке микротрона с энергией ускоренных электронов 6.1 МэВ, и током электронов 2.4 мкА. Длительность макроимпульсов и частота 4 мкс, 1-8 Гц соответственно. Населенность электронов в сгустки  $N_e = 10^8$ , длина сгустков  $\sigma = 2.4$  мм, число сгустков в макроимпульсе  $10^4$ . Для таких сгустков в области длин волн  $\lambda > 9$  см, излучение электронного сгустка имеет когерентный характер [2]. В связи с когерентностью процесса интенсивность излучения возрастает  $N_e$  раз (в нашем случае на 8 порядков), что делает их достижимыми для измерения с использованием существующих детекторов.

Схема эксперимента приведена на рисунке 1. Электронный пучок пролетает рядом с мишенью на расстоянии  $h = 20$  мм (прицельный параметр) взаимодействует своим кулоновским полем с материалом мишени и генерирует ИВЧ.

В качестве материала мишени был взят тефлон с коэффициентом преломления  $n = 1.41 \pm 0.01$  [3]. Мишень имеет форму прямоугольной призмы, в основании которой лежит равнобедренный прямоугольный треугольник со стороной 175 мм и высотой 74 мм. Мишень размещалась на расстоянии 200 мм от выходного патрубка.

Для измерения угловых характеристик излучения применялся параболический телескоп с детек-

тором DP-21M, расположенным в фокусе параболического зеркала, чтобы исключить влияние эффекта предволновой зоны [4]. То есть спектрально угловые характеристики измеренного излучения совпадают с характеристиками, измеренными в дальней зоне. Измерение зависимости интенсивности излучения от угла наблюдения  $\theta$  проводилось с шагом  $1^\circ$ . Детектор выполнен на основе широкополосной микрополосковой антенны с установленным на ней низкобарьерным (0.2-0.3 эВ) детекторным СВЧ диодом. Средняя чувствительность в области длин волн от 11 до 17 мм составляет 0.3 В/Вт, в области длин волн 3.8 ÷ 5.6 мм она несколько выше и составляет 0.6 В/Вт.

В эксперименте измерялась горизонтальная поляризация поля излучения (в плоскости излучения).

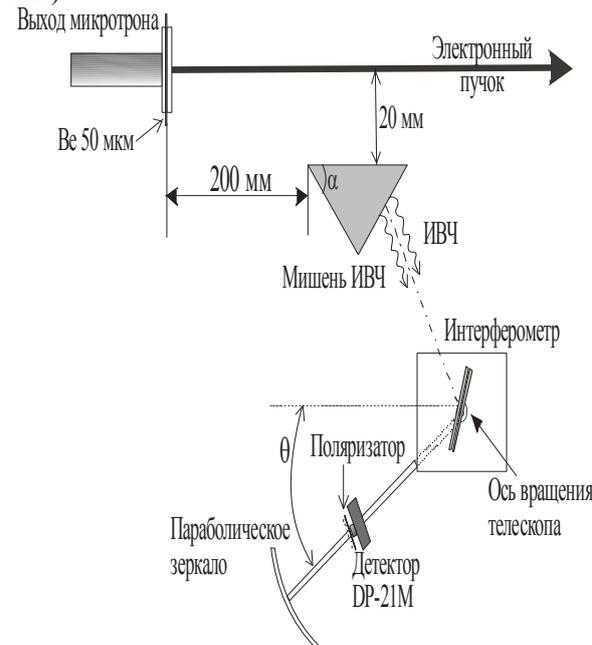


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

На рис. 2 пик под углом  $\theta = 44^\circ$  соответствует пику ИВЧ, положение которого определяется соотношением 1. Чтобы понять природу излучения в диапазоне от  $0^\circ$  до  $20^\circ$ , на грань расположенную вдоль пучка был установлен медный экран. Измеренное в этой геометрии угловое распределение показано рис. 2. Из полученных измерений видно, что излучение от  $0^\circ$  до  $20^\circ$ , которое не исчезает с установкой экрана, вызвано обратным переходным излучением от параболы телескопа.

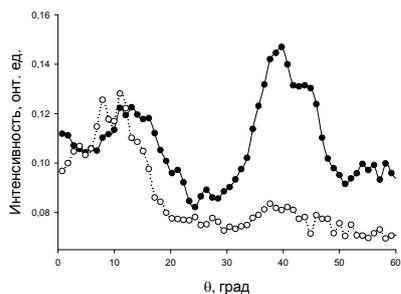


Рис. 2. Измеренные зависимости интенсивности излучения от угла наблюдения для разных геометрий эксперимента: ● — без медного экрана, ○ — с медным экраном.

Для измерения спектра исследуемого излучения был использован интерферометр, состоящий из двух пластин сделанных из алюминия. Установка для построения интерферограмм выполнена в компоновочной форме и содержит два узла, которые устанавливаются в пике ИВЧ от тефлоновой мишени под углом  $\theta = 44^\circ$ . Первый узел состоит из мишеней с устройством перемещения одной из них. В начале измерений обе пластины расположены в одной плоскости,  $\delta = 0$ . При изменении расстояния между пластинами  $\sigma$ , минимум в угловом распределении сдвигается, что позволяет строить зависимость представляющую собой интерферограмму [5]. Второй узел, представляет собой параболический телескоп с установленным детектором DP-21M.

#### Результаты измерений

В результате серии измерений были построены интерферограммы в соответствующих пиках излучения (см. рис. 2). Спектры, восстановленные из интерферограмм обратным преобразованием Фурье представлены на рис. 3.

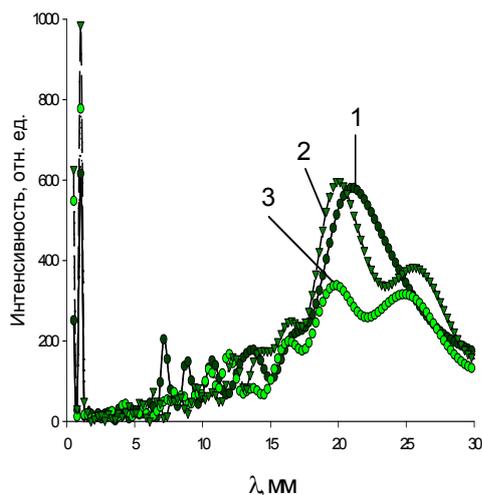


Рис 3. Экспериментально измеренные спектры ИВЧ: кр. 1, кр. 2, кр. 3.

Кривая 1 соответствует восстановленному спектру в пике  $\theta = 41^\circ$ , кривая 2 —  $\theta = 47^\circ$ , кривая 3 —  $\theta = 44^\circ$ . Из приведённых рисунков видно, что тефлоновая мишень обладает спектральной дисперсией. Следовательно, при работе с этим материалом в данном диапазоне длин волн необходимо учитывать дисперсию, которая вносит свой вклад в угловое распределение исследуемого излучения. Так же стоит отметить, что работа проводилась на выведенном пучке микротрона с угловой расходимостью  $\approx 0,08$  и следует учитывать рассеяние электронов в воздухе [6].

#### Заключение

Таким образом, проведен эксперимент, где при прохождении электронного пучка вблизи диэлектрической мишени наблюдалось излучение Вавилова-Черенкова в миллиметровом диапазоне длин волн. Экспериментальные данные, полученные в данной работе, позволяют качественно оценить вносимый дисперсией вклад в зависимость интенсивности излучения от угла наблюдения.

#### Список литературы:

1. Б.М. Болотовский. // УФН. — 1957. — Т 62. вып. 3. — 201 с.
2. А.Н. Алейник, А.С. Арышев, Б.Н. Калинин и др. // Письма в ЖЭТФ. — 2002. — Т.76. — С. 397.
3. М.В. Шевелёв, Г.А. Науменко, А.П. Потылицын и др. //Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53. № 10/2. С. 178
4. Б.Н. Калинин, Г.А. Науменко, А.П. Потылицын, и др. // Письма в ЖЭТФ. — 2006. — Т.84. - №3. — С. 397.
5. Г.А. Науменко, А.П. Потылицын, М.В. Шевелёв, и др. // Изв. вузов. Физика. — 2009. — №11/2. — С. 254.
6. В.В. Блеко, В.В. Соболева, М.В. Шевелёв. // Изв. вузов. Физика. — 2011. — №11/2. — С. 295.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА

Губайдулин И.М., Драгунов А.В.

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Беденко С.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [commander\\_tom@mail.ru](mailto:commander_tom@mail.ru)

Задача обеспечения своевременного и безопасного вывода из эксплуатации ядерных и радиационно-опасных объектов является приоритетной и принципиально важной задачей для развития атомной отрасли. В этой связи актуальной является разработка концептуальных подходов по выводу из эксплуатации объектов различного назначения, включая системы и элементы систем хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

Опыт эксплуатации основного оборудования объектов атомной отрасли показал большую значимость информации о составе и количестве радиоактивности, аккумулированной в эксплуатируемом оборудовании. Только она позволяет решать вопрос о способах демонтажа оборудования, о возможности его повторного использования или утилизации.

Целью настоящей работы является определение дифференциальных характеристик источников и полей излучения, образующихся в системах хранения и транспортировки отработанного топлива при эксплуатации, создание базы данных, позволяющей прогнозировать состав и интенсивность наведенной радиоактивности в материалах систем хранения и транспортировки.

Все величины, характеризующие радиоактивный распад каждого изотопа (периоды полураспада, количество нейтронов на один распад, энергии  $\gamma$ -квантов, образующихся при распаде и т. д.), являются постоянными. Поэтому параметры источников излучений ОЯТ являются функцией только изотопного состава.

Таким образом, задача формирования массива данных, характеризующих ОЯТ, как источник различных излучений, сводится к определению изотопного состава ОЯТ и ядерных данных, характеризующих радиоактивные превращения всех изотопов в ОЯТ.

Расчет изменения изотопного состава материалов реакторной установки в процессе ее работы производился с помощью программы ORIGEN-ARP. Обобщенный подход (алгоритм) к описанию изменения изотопного состава ядерного топлива с учетом основных физических особенностей взаимодействия нейтронов с ядрами и последующих радиоактивных превращений, а также конкретные алгоритмы расчета концентраций продуктов деления и актиноидов представлены, например, в работах [1, 2].

ОЯТ является мощным источником ионизирующих излучений. Как источник облученное топливо имеет сложную структуру, которая образована до 800 радиоактивными изотопами. Радиоак-

тивные превращения этих изотопов вызывают генерацию нейтронного и  $\gamma$ -излучений [3].

Под мощностью нейтронного и  $\gamma$ -источника ОЯТ с определенной глубиной выгорания и временем выдержки понимается полное количество нейтронов или гамма-квантов, испускаемых одной ОТВС в единицу времени.

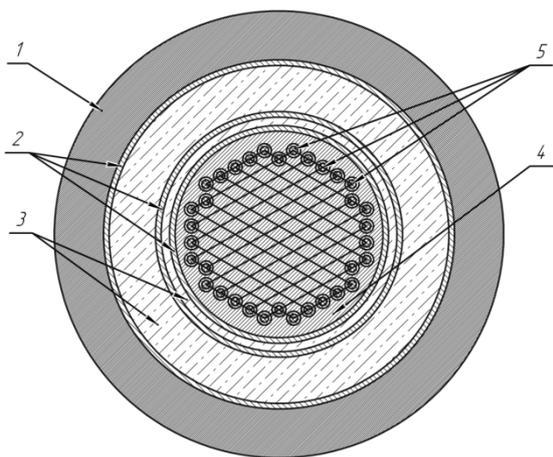
Нейтроны образуются в результате протекания ( $\alpha, n$ )-реакций на легких ядрах ОЯТ; спонтанного деления ядер урана и трансурановых элементов в ОЯТ; фотонейтронов, образующихся в результате протекания фотоядерных процессов (фотоядерное деление, реакции типа ( $\gamma, xn$ )) – 3 основные составляющие.

В формировании источника  $\gamma$ -квантов в основном вносят вклад продукты деления, испытывающие последовательные  $\beta$ -распады, которые, в свою очередь, сопровождаются испусканием  $\gamma$ -квантов.

Расчетные исследования с использованием программы SCALE показали, что нейтронный источник на 98% определяются набором из нескольких изотопов, а именно:  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{246}\text{Cm}$ ,  $^{242}\text{Cf}$ . Так же было установлено, что  $\gamma$ -фон на 98% определяется несколькими продуктами деления, а именно:  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Eu}$

Определяющий вклад в формирование нейтронного излучения вносят всего несколько изотопов. Например, нейтронный источник в облученном урановом топливе практически полностью определяется изотопами кюрия [3, 4]. Однако, значения концентраций этих изотопов, как правило, содержат наибольшую неопределенность, так как они практически не влияют на коэффициент размножения и до недавнего времени вопрос точности определения их концентраций не находил должного внимания [1].

Расчет параметров поля излучения, формирующегося в рабочем объеме контейнера ТУК-109, осуществлялся с использованием программного комплекса MCU5TPU (константное обеспечение – библиотека MCU-DB).



**Рис. 1.** Сечение расчетной 3D-модели контейнера:

- 1 – пространство вблизи контейнера (воздух);
- 2 – стальные оболочки корпуса контейнера (сталь марки 08Х18Н10Т);
- 3 – бетонные оболочки корпуса контейнера (бетон марки ОПБ СТ);
- 4 – пространство внутри контейнера, не занятое ОЯТ (He);
- 5 – ампулы с пучками твэл ОЯТ.

Последовательность моделируемых событий при расчете параметров поля излучения следующая. Под действием мощного нейтронного излучения от ОЯТ при его долговременном хранении в контейнере происходит активация изначально стабильных ядер, входящих в состав стали и бетона контейнера. Распад каждого образующегося нестабильного ядра сопровождается выделением энергии в точке распада и генерацией фотонов. Процесс радиоактивного распада формирует поле излучения внутри и на поверхности контейнера, а  $\gamma$ - и нейтронное излучение от ОЯТ формирует так же поле излучения вблизи контейнера.

Время жизни, энергия распада и спектр излучения для всех радиоактивных ядер известен. Для определения интересующих нас радиационных характеристик материала следует суммировать индивидуальные радиационные характеристики ядер атомов, входящих в состав материала. Таким образом, задача расчета параметров поля излучения, формирующегося в рабочем объеме контейнера, сводится к определению концентраций нестабильных ядер.

В работе исследована динамика пространственного распределения дочерних нестабильных радионуклидов, образующихся в элементах конструкции контейнера под действием нейтронного излучения от ОЯТ реактора РБМК-1000. Получена информация о составе и количестве радиоактивности, аккумулированной в контейнере за 50 лет эксплуатации.

#### **Выводы.**

1. Установлено, что для перспективных модификаций облученных сборок реактора РБМК-1000 расчетное значение плотности потока быстрых нейтронов вблизи контейнера ТУК-109 превышает предельно допустимые уровни в 3 раза.
2. При хранении облученного топлива в контейнере ТУК-109 происходит накопление в его объеме радиоактивности, уровень которой зависит от материала элементов конструкции, их пространственного расположения и времени.
3. Установлено, что после снятия с эксплуатации контейнера уровень ионизирующего излучения вблизи контейнера определяется изотопами:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения за счет накопления этих радионуклидов не превышает предельно допустимых уровней.

#### **Литература:**

1. Шаманин И.В., Беденко С.В., Павлюк А.О., Лызко В.А. Использование программы ORIGEN-ARP при расчете изотопного состава отработанного топлива реактора ВВЭР-1000 // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 25–28.
2. Круглов А.К., Рудик А.П. Реакторное производство радиоактивных нуклидов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с.
3. Беденко С.В., Гнетков Ф.В., Кадочников С.Д. Дозовые характеристики полей нейтронов облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 1. – С. 6–12.
4. Шаманин И.В., Буланенко В.И., Беденко С.В. Поле нейтронного излучения облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 97–103.

## ОБОСНОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ «СУХОГО» ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА

Губайдулин И.М., Вильхивская О.В.

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Беденко С.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [commander\\_tom@mail.ru](mailto:commander_tom@mail.ru)

Темпы развития ядерной энергетики в значительной степени определяются внешними составляющими ядерно-топливного цикла, в частности, долговременным хранением ОЯТ и его переработкой [1].

Прогнозы, сделанные в различных странах, показывают, что в ближайшие 20–30 лет ожидается увеличение объемов накопления ОЯТ в мире примерно в 2–3 раза, при этом особенно острой проблемой будет являться хранение ОЯТ реакторов типа РБМК. В связи с этим возникает необходимость в хранилищах большой емкости, удовлетворяющих требованиям ядерной и радиационной безопасности [1, 2].

После заметного распада короткоживущих радионуклидов при предварительной выдержке ОЯТ в воде с целью снижения тепловыделения становится целесообразным переход на «сухой» метод хранения ОЯТ [2].

Именно контроль нейтронно-физических параметров в системах «сухого» хранения ОЯТ будет рассмотрен в этой работе. Также на примере сухого хранилища ОЯТ (СХОЯТ) на ФГУП «Горнохимический комбинат» будут рассмотрены различные схемы загрузок, позволяющие существенно снизить уровни нейтронного излучения в некоторых точках хранилища до предельно допустимых значений.

Хранение ОТВС в России предусматривается в специальных гнездах, в которых размещаются герметичные пеналы с ОТВС. Каждая камера хранения имеет 242 гнезда для герметичных пеналов с ОТВС РБМК-1000, расположенных в гнезде в два яруса. В каждом гнезде размещается 3,503 т (по урану) ОЯТ реактора РБМК-1000 (или 2,4 тонны ОЯТ реактора ВВЭР-1000).

Для расчетов  $k_{эфф}$  СХОЯТ использован программный комплекс SCALE 5.0. Расчет проводился для облученного топлива реактора РБМК.

### Результаты расчетов $k_{эфф}$ камеры пролетом 12 м СХОЯТ РБМК-1000. Случай «свежего» топлива

Рассмотрены варианты проектных (заполнения хранилища водой, при отсутствии воды в самом гнезде с пеналом) и запроектных аварий (заполнение всего хранилища водой и всех ампул, находящихся в герметичных пеналах в гнезде хранилища).

При расчете  $k_{эфф}$  СХОЯТ использовалось урановое топливо с обогащением 1,6; 2,0; 2,4; 2,6 и 2,8 %.

Результаты расчета  $k_{эфф}$  топлива с начальным обогащением 1,6 % для пяти загрузок:

1. В СХОЯТ находится одно гнездо с пена-

лом, размещенное в центре.

2. СХОЯТ полностью загружено топливом.

3. В СХОЯТ находится одно гнездо с пеналом, размещенное в центре. СХОЯТ полностью заполнено водой, вода везде кроме самого гнезда с пеналом.

4. СХОЯТ полностью загружено топливом. СХОЯТ полностью заполнено водой, вода везде кроме гнезд с пеналом.

5. СХОЯТ полностью загружено топливом. Рассмотрена запроектная авария, при которой происходит заполнение всего хранилища водой и всех ампул, находящихся в герметичных пеналах в гнезде хранилища.

Результаты расчета  $k_{эфф}$  для топлива с другим обогащением для удобства сведены в табл. 1. Цифры 1, 2, 3, 4 и 5 соответствуют приведенным выше схемам загрузок.

**Таблица 1.** Расчетные значения  $k_{эфф}$  СХОЯТ для топлива различного обогащения

Обогащение топлива а, %	1	2	3	4	5
1,6	0,1252	0,2829	0,3572	0,3867	0,8146
2,0	0,1299	0,3034	0,3779	0,4108	0,8942
2,4	0,1338	0,3277	0,4003	0,4319	0,9502
2,6	0,1355	0,3399	0,4058	0,4422	0,9756
2,8	0,1362	0,3499	0,4115	0,4496	0,9967

Таким образом, возникновение самоподдерживающейся реакции деления возможно для топлива с обогащением 2,6 % и 2,8 % и только в случае запроектной аварии, когда происходит заполнения хранилища и отдельных его зон водой. Однако данное событие маловероятно.

### Результаты расчетов $k_{эфф}$ камеры пролетом 12 м СХОЯТ РБМК-1000. Случай «выгоревшего» топлива

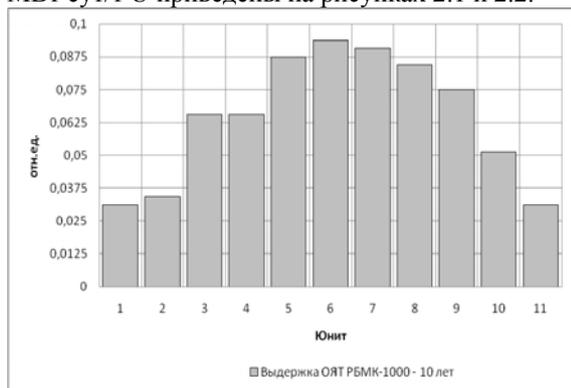
СХОЯТ полностью загружено ОЯТ РБМК-1000 (обогащение – 2 %, выгорание – 19740 МВт·сут/т, выдержка – 180 суток и 10 лет). Эффективный коэффициент размножения СХОЯТ, загруженного ОЯТ РБМК-1000, равен  $k_{эфф} = 0,2229 \pm 0,0005$ .

Расчетные исследования показали, что учёт глубины выгорания позволит уменьшить значение  $k_{эфф}$  на 32 %, а значит с точки зрения ядерной безопасности камера пролетом 12 м СХОЯТ является глубоко подкритичной системой даже в случае запроектных аварий (с учётом глубины выгорания ОЯТ), однако уровни нейтронного излучения уже при выгорании 19740 МВт·сут/т  $U$  превышают предельно допустимые значения. Таким образом, необходима оптимизация схем размещения в СХОЯТ ОТВС с различной глубиной выго-

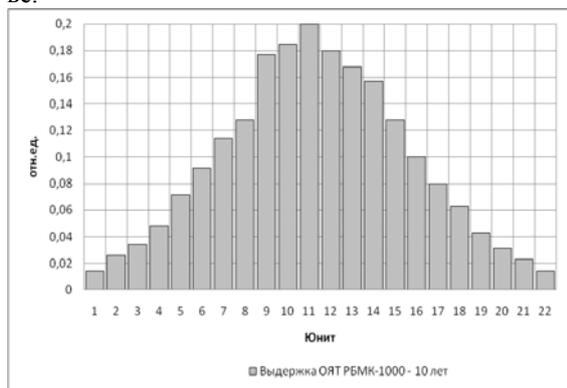
рания с целью уменьшения дозовой нагрузки на персонал.

Один из вариантов загрузки СХОЯТ, позволивший снизить уровни нейтронного излучения в некоторых точках хранилища до предельно допустимых значений.

Расчетное значение эффективного коэффициента размножения в СХОЯТ равно  $k_{эфф} = 0,2148 \pm 0,0003$ . Дозовые характеристики полей нейтронов в «сухом хранилище» для ОЯТ с начальным обогащением 2 % по  $^{235}\text{U}$  и глубиной выгорания 19740 МВт·сут/т U приведены на рисунках 2.1 и 2.2.



**Рисунок 2.1.** Значение потоков быстрых нейтронов в зависимости от расположения UNIT в массиве.



**Рисунок 2.2.** Значение потоков быстрых нейтронов в зависимости от расположения UNIT в массиве.

## Выводы

- 1) Установлено, что при условии нормальной эксплуатации и проектных аварий СХОЯТ является глубоко подкритичной системой (схемы загрузки – 1...4, см. Табл. 1), при этом  $k_{эфф} \leq 0,45$ .
- 2) Установлено, что учёт глубины выгорания позволит уменьшить значение  $k_{эфф}$  на ~32 %, при этом СХОЯТ будет глубоко подкритичной системой даже в случае запроектных аварий, однако уровни нейтронного излучения уже при выгорании 19740 МВт·сут/т превысят предельно допустимые значения.
- 3) Таким образом, необходима оптимизация схем размещения в СХОЯТ ОТВС с различной глубиной выгорания с целью уменьшения дозовой нагрузки на персонал.
- 4) Предложенный в работе вариант «загрузки» СХОЯТ (см. Рис. 3) позволит снизить уровни излучения в некоторых точках хранилища до предельно допустимых значений.

## Литература:

1. Внуков В.С. Глубина выгорания как параметр ядерной безопасности хранилищ и транспортных упаковочных комплектов с отработавшим ядерным топливом. – Атомная техника за рубежом, 1990, № 12, с. 9 – 11.
2. Шаманин И.В., Беденко С.В., Павлюк А.О., Лызко В.А. Использование программы ORIGEN-ARP при расчете изотопного состава отработанного топлива реактора ВВЭР-1000 // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 25–28.
3. Беденко С.В., Гнетков Ф.В., Кадочников С.Д. Дозовые характеристики полей нейтронов облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 1. – С. 6 – 12.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИТРАТА КАЛИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Гуслякова В.М., Меринова Л.Р.

Научный руководитель: Шиян Л.Н., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [ura-lilya@mail.ru](mailto:ura-lilya@mail.ru)

Успешное проведение экспериментов с использованием источников излучения зависит от правильного определения поглощенной дозы.

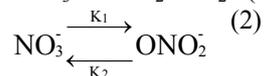
Физические методы дозиметрии основаны на измерении величины какого-либо физического эффекта, например ионизации, выделения тепла, свечения и т.п. В зависимости от природы этого эффекта существуют различные типы дозиметров: ионизационная камера, калориметрический дозиметр, цилиндр Фарадея, дозиметры, основанные на сцинтилляционных эффектах. [1]

Химические методы дозиметрии ионизирующих излучений основаны на определении химических изменений, происходящих в некоторых системах при их облучении. Такими системами в зависимости от условий проведения эксперимента могут быть жидкости, газы или твердые тела [1].

Цель работы заключается в исследовании возможности использования химического дозиметра на основе нитрата калия [2] для определения интегральных характеристик источников излучения, работающих в Томском политехническом университете. Для дозиметрии выбраны следующие источники ионизирующего излучения: микротрон (ФТИ), сильноточный импульсный ускоритель ТЭУ-500 (ИФВТ), линейный ускоритель электронов ЛУЭ (ИНК), рентгеновский аппарат РУП-120-5-1 (ФТИ).

Выбор  $\text{KNO}_3$  в качестве дозиметра обусловлен тем, что он удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к химическим дозиметрам. Основной показатель – это радиационно-химический выход, который должен быть постоянным, достаточно высоким и не зависеть от вида излучения.

При радиационно-химическом разложении нитрата калия образуется два продукта [2], которые приняты за основные при расчете дозы и мощности дозы ионизирующего излучения. Такими продуктами являются  $\text{NO}_2^-$  - нитрит ион,  $\text{ONO}_2^-$  - перекисный нитрит ион, образующиеся по реакциям:



Перекисный нитрит-ион ( $\text{ONO}_2^-$ ) образуется при воздействии только высокоэнергетических видов излучения и не позволяет проводить расчеты при измерении поглощенной дозы гамма- и рентгеновского излучений. Поэтому в работе для расчета поглощенной дозы в качестве основного продукта использовали нитрит ион, образующийся с постоянным радиационно-химическим выходом равным  $1,6 \pm 0,2$  ион/100эВ.

Значение радиационно-химического выхода нитрит иона G, его концентрации и поглощенная доза, связаны формулами:

$$D = \frac{E}{m}; \left[ \frac{\text{эВ}}{\text{г}} \right] \quad E = \frac{C \cdot V \cdot N_A}{G}; [\text{эВ}]$$

Определение нитрит иона проводили химическим способом по стандартной методике, соответствующей ГОСТ 4192-82 [3].

Перед облучением нитрат калия был дважды перекристаллизован и проверен на содержание нитрит-ионов. Затем его прессовали в таблетки, которые и служили дозиметрическими датчиками.

Первый этап работы заключался в уточнении значения радиационно-химического выхода нитрит иона. Для этого была проведена дозиметрия линейного ускорителя электронов ЛУЭ (ИНК) с энергией 4 МэВ с помощью ГОСТированного пленочного дозиметра на основе полиметилакрилата и дозиметра на основе  $\text{KNO}_3$ . Значение, полученное пленочным дозиметром, составило  $1,78 \cdot 10^{19}$  эВ, а дозиметром на основе  $\text{KNO}_3$  составило  $1,93 \cdot 10^{19}$  эВ. Измерения проводились при одинаковых условиях, одинаковой геометрии, что позволило уточнить выход нитрит иона.

В результате расчетов уточнили радиационно-химический выход нитрит-ионов:

$$G = \frac{9,2 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{1,78 \cdot 10^{19}} = 1,56 \frac{\text{ион}}{100\text{эВ}}$$

Полученное значение совпадает с литературными данными с погрешностью 2,5%. Это подтверждает правильность расчетов поглощенной дозы химическим дозиметром на основе  $\text{KNO}_3$  с использованием радиационно-химического выхода нитрит иона, равного  $1,6 \pm 0,2$  ион/100эВ.

На втором этапе измерений, используя выход, нитрит иона была проведена дозиметрия ускорителей, работающих в ИФВТ, ФТИ. Для микротрона была определена мощность дозы электронное и переходное излучений.

В результате проведенных измерений и расчетов получили значения мощности дозы электронного излучения равное 60 рад/с, и мощности дозы переходного излучения, равное 7,7 рад/с что совпадает с расчетными данными полученными сотрудниками ФТИ.

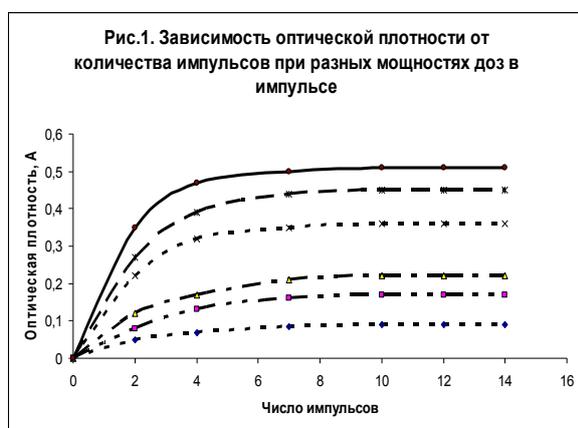
Одновременно исследована возможность использования  $\text{KNO}_3$  для измерения фоновых значений дозы в помещении при работе микротрона. Для этого в помещении, где работает микротрон, на расстоянии 1 метра от установки были размещены дозиметрические датчики. Полученные значения поглощенной дозы превышают предельно

допустимые нормы для человека в 100 раз ( $2,24 \cdot 10^4$  рад). ПДД для человека  $\approx 200$  рад.

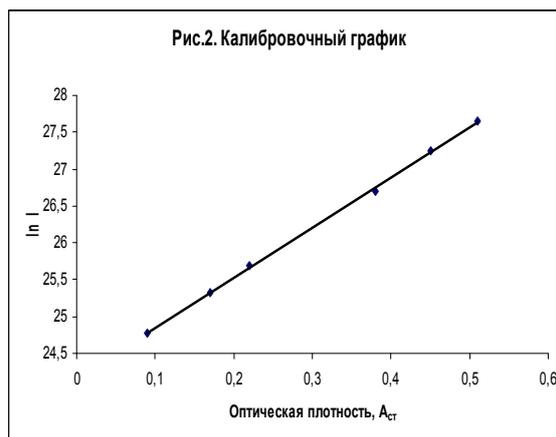
Дозиметрию сильноточного импульсного ускорителя ТЭУ-500, расположенного в ИФВТ проводили цилиндром Фарадея, калориметром и дозиметром на основе  $KNO_3$ . Энергия пучка, рассчитанная с помощью цилиндра Фарадея и калориметра, составила 10 Дж за импульс. Энергия пучка, полученная с помощью дозиметра на основе  $KNO_3$  составила 9 Дж, что совпадает с результатами, полученными с помощью ГОСТированных дозиметров с 10 % погрешностью (10-15% погрешность допускается ввиду нестабильности работы ускорителя).

Для рентгеновского аппарата РУП-120-5-1, расположенного в ФТИ, при токе  $I=5$ мА и напряжении  $U=120$ кВ поглощенная доза составила  $D=9,3 \cdot 10^4$  рад.

Третий этап работы заключался в определении длительности импульса. Для этой цели использовали второй продукт, образующийся по реакции (2) – перекисный нитрат ион, максимум поглощения которого приходится на длину волны 350нм. Перекисный нитрат ион устойчив и его стационарная концентрация зависит от мощности дозы, что было проверено на источниках с различной мощностью дозы в импульсе и различной длительностью импульса (рис.1).



Используя значения, стационарной концентрации перекисного нитрат иона и мощности дозы различных источников, была построена калибровочная зависимость логарифма мощности дозы от стационарной концентрации  $ONO_2^-$ , представленная на рис.2.



Используя, полученные значения мощности дозы, индикатором которой является стационарная концентрация перекисного нитрат иона, и дозу, измеренную с помощью нитрит иона, определили длительность импульса сильноточного импульсного ускорителя ТЭУ-500, которая составила 60нс.

#### Выводы

1. При радиационно-химическом разложении нитрата калия образуются два продукта  $NO_2^-$  и  $ONO_2^-$ , которые позволяют определить дозу и мощность дозы ионизирующего излучения.
2. Для расчета поглощенной дозы в качестве основного продукта используют нитрит ион, который образуется с постоянным радиационно-химическим выходом  $1,6 \pm 0,2$  ион/100эВ.
3. С помощью нитрит иона определена поглощенная доза для микротрона, сильноточного импульсного ускорителя ТЭУ-500, и рентгеновской установки РУП-120-5-1.
5. Предложена методика определения длительности импульса высокоинтенсивных пучков, с помощью которой рассчитана длительность импульса сильноточного импульсного ускорителя ТЭУ-500.

#### Список литературы:

1. Пикаев А.К. Дозиметрия в радиационной химии. – М.: Наука, 1975г.
2. Патент РФ № 1544030 от 14.12.87 г. — Л.В. Сериков, Т.А. Юрмазова, Л.Н. Шиян, В.М. Кецкало, В.В Старченко /Способ дозиметрии ионизирующего излучения.
3. ГОСТ 4192-82. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПИЧЕСКИХ ИОНОВ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ВЕЩЕСТВ

Дрогалев А.С., Балашков В.С., Вергун А.П.,

Научный руководитель: Вергун А.П., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [kpt@sibmail.com](mailto:kpt@sibmail.com)

Изотопы одного и того же элемента, имеющие незначительные отличия по химическим свойствам, как правило, имеют значительные отличия по физическим свойствам. Например, период полураспада, сечение взаимодействия с элементарными частицами, теплопроводность. Эти отличия обуславливают значительный интерес к изотопной продукции.

Сдерживающим фактором широкого использования моноизотопных материалов служит их высокая стоимость, поэтому актуальной является задача разработки более эффективных методов разделения изотопов, при этом важно выполнение как теоретических, так и комплексных экспериментальных исследований. Большие возможности в области производства изотопной продукции открывают фундаментальные исследования в области ионообменной технологии.

В методе разделения изотопических ионов при электродиализе с применением ионитовых мембран используются разница подвижностей изотопических ионов в фазах ионита (ионитовая мембрана) и раствора, особенности поведения указанных фаз во внешнем электрическом поле. Использование противотока придает методу ряд преимуществ, важнейшими из которых являются достижение непрерывности процесса и возможность разделения тяжелых изотопов при малой длине разделительного устройства.

Разделение при электродиализе происходит в основном при электромиграции изотопов через мембрану, а в промежутках между мембранами разделение практически отсутствует ввиду полного перемешивания раствора в них. Дополнительно принимается, что поляризацией можно пренебречь, так как процесс разделения рассматривается при малых плотностях электрического тока. В этом случае концентрационный профиль и профиль напряженности электрического поля по условно собранному пакету мембран можно считать непрерывным.

Процесс разделения изотопических ионов можно разделить как бы на два этапа: первый этап заканчивается стационарным распределением общей смеси в электродиализаторе; второй этап включает собственно процесс разделения компонент внутри стационарного общего распределения.

Схема потоков при электродиализном разделении изотопов приведена на рисунке 1.

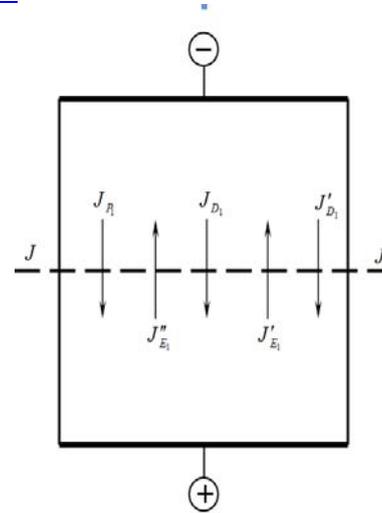


Рис. 1. Схема потоков при электродиализном разделении изотопов.

Процесс электромиграции необходимо организовать таким образом, чтобы разделяемые компоненты не уходили из зоны разделения, например, в результате электродных реакций.

Суммарный поток выделяемого изотопа в электродиализаторе обусловлен потоками, происходящими под действием электрического поля в ионите ( $J^E$ ) и растворе ( $J^E$ ), диффузионными потоками по иониту ( $J^D$ ) и раствору ( $J^D$ ) а также противотоком электролита ( $J_p$ ).

Полученное дифференциальное уравнение разделения изотопов имеет следующий вид:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left( \frac{dC}{dx} + C(K - C) \right)$$

где  $C$  - относительная концентрация выделяемого изотопа;  $x$  - координата рассматриваемого сечения электродиализатора при отсчете от точки питания аппарата;

$K$  - постоянная, определяемая через параметры системы мембрана -раствор.

Подвижность иона целевого изотопа определяется временем электромиграции (время контакта изотопа в продуктах фотолиза с исходным соединением). При длительном контакте исходного соединения и продуктов химических реакций, инициируемых фотолизом, коэффициент изотопного

разделения может быть ограничен значением коэффициента изотопного разделения при обменных процессах. Суммарный эффект изотопного разделения в рассматриваемой системе определяется также величиной  $\alpha$  при электромиграции ионов через ионообменную мембрану. При

этом скорость обмена определяет время установления изотопного равновесия между различными соединениями в их смеси.

Экспериментальные исследования по разделению изотопов проводились в электродиализаторах фильтр-прессного и ступенчатого типа с использованием катионитовых (МК-40), анионитовых (МА-40) и биполярных мембран. Напряженность электрического поля достигала в процессах разделения величины 40 в/см. При этом степень изотопного разделения была порядка 25-30, а ВЭТТ находилась в интервале 1,0 - 1,5 мм.

Проводя сравнительную оценку эффективности использования катионитовых и анионитовых мембран в процессах разделения изотопов можно сказать, что анионитовые мембраны позволяют достигать более высоких эффектов разделения. При использовании катионитовых мембран достаточно высокая степень разделения сочетается с существенно большими значениями чисел переноса, чем для анионитовых мембран.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что повышение величины однократного коэффициента разделения при электродиализе можно достичь в условиях комплексобразования.

Для рассматриваемой системы получено выражение, позволяющее оценивать однократный коэффициент разделения при электродиализе с ионообменными мембранами:

$$\alpha = 1 + \frac{\Delta CV_k}{((1-C)S\Delta tW - \Delta CV_k)C}$$

где  $\Delta C$  - изменение относительной концентрации выделяемого изотопа в катодной камере с объемом  $V_k$  за время  $\Delta t$ ,  $W$  - линейная скорость противотока,  $S$  - сечение электродиализатора.

Будущие методы разделения изотопов должны комбинировать в себе ныне существующие. Для достижения более точной, более слаженной работы методов, их работу должна контролировать высокоточная и высокопроизводительная вычислительная техника, способная просчитывать множество миллионов вариантов развития процесса разделения изотопов, при использовании тех или иных методов.

С целью эффективного решения задачи определения наилучших условий и режимов разделения в системе, которая с точки зрения квантово-статистического расчета перспективна в отношении разделения изотопов, применяются методы математического планирования экспериментов.

Применение математического планирования позволяет существенно повысить эффективность экспериментальных исследований, так как дает возможность получить максимум информации при значительно меньшем по сравнению с клас-

сическими приемами числе необходимых экспериментов. При этом получено уравнение регрессии 2-го порядка, описывающее процесс разделения в стационарной области. Геометрическая модель позволяет определить оптимальные условия проведения процесса при разделении изотопов легких щелочных элементов. Максимальное значение коэффициента разделения найдено равным 1,024. При этом концентрация ионита - 1,5 г-экв/л, а концентрация раствора - 2,9 г-экв/л.

Результаты исследований в рассматриваемом направлении являются научной базой для решения задач повышения эффективности разделительных процессов, поиска новых способов разделения и тонкой очистки веществ, определения оптимальных условий их проведения с учетом требований экологии и безопасности.

#### Список литературы:

1. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. «Разделительные процессы с применением ионообменных материалов» Учебное пособие Томск 2002
2. Вергун А.П., Пуговкин М.М., Шаров Р.В. «Разделение изотопов и тонкая очистка веществ электроионитными и обменными методами» Учебное пособие, Томск 2000.
3. T.M. Whitworth, B.I. Marinas, S.I. Fritz, Modified Reverse Osmosis System for Treatment of Produced Waters J. Membr.Sci., 88 (1994) 231.
4. Вергун А.П., Дорофеева Л.И., Вергазов К.А. Электрорегенерация ионита при разделении изотопов в обменных противоточных колоннах // Перспективные материалы, технологии, конструкции: Сб. науч. тр. под ред. проф. В.В. Стацурь. Красноярск, 1999. В. 5. С.190 - 191.
5. Власов В.А., Вергун А.П., Орлов А.А., Тихонов Г.С. «Разделительные процессы с применением ионообменных материалов» Учебное пособие Томск 2002
6. Тихомиров И.А., Вергун А.П., Дорофеева Л.И. Электроионитные процессы в двухфазных системах неорганический ионит-раствор / Том. политехн. ун-т. - Томск, 2001. - 18 с. - Деп. В ВИНТИ 28.03.01, № 757 - В2001.
7. Степанов А.А., Вергун А.П., Власов А.В., Балашков В.С. Разделение изотопов с применением монополярных ионитов, смешанного слоя и электрохимического обращения потоков фаз // Известия вузов. Физика - т. 53, 2010, - № 11/2. - с. 189-192
8. Балашков В.С., Вергун А.П. Моделирование и оптимизация гибких обменных и электроионитных систем изотопного разделения // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: Сборник тезисов докладов V Международной научно-практической конференции - Томск, 7-8 июня 2010. - Томск: ТПУ, 2010. - с. 168.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КАМЕРЫ CORDIN 530 В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Дьячковский А.С.

Научный руководитель: Ищенко А.Н. д.ф.-м.н., зам директора НИИПММ ТГУ по НИР  
«Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет»,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36 корп.10  
E-mail: [Lex\\_okha@mail.ru](mailto:Lex_okha@mail.ru)

При проведении баллистического эксперимента важно знать много различных параметров, от условий заряжания до характеристик снаряда на траектории. Значительная часть процессов явления выстрела протекает в весьма короткие промежутки времени и характеризуется высокими значениями физических параметров: скорости, давления, температуры и т. д.

Для измерения скорости тела на выходе из ствола или на траектории используются датчики измерения скорости. Для определения положения тела в пространстве, используется скоростная фотосъемка. Фотографирование позволяет определить положение тела в определенный момент времени в определенном месте траектории. Для наблюдения поведения тела в движении используется скоростная видеосъемка, позволяющая определять положение тела в пространстве в различные моменты времени, т.е. траекторию полета тела, позволяет наблюдать в динамике взаимодействие тел, а так же позволяет определять скорость движения тела на видимом участке траектории.

Высокоскоростные камеры бывают в пленочном или цифровом исполнении. Преимущество цифровых камер в простоте и скорости обработки полученной информации. Высокоскоростные цифровые камеры могут иметь одинаковую частоту кадров съемки, но иметь разное разрешение съемки, из-за различных принципов обработки и получения изображения. Так же камеры имеют различную продолжительность съемки, измеряемую в секундах или числом записываемых кадров. Высокоскоростные камеры высокого разрешения основаны на концепции вращающегося зеркала. Изображение, попадающее в объектив, проходит через фокусирующие линзы, далее передается на вращающееся зеркало, с которого через линейку линз, формирующих кадры, передается на пленку или ПЗС матрицы расположенные на окружности с центром в точке вращения многогранного зеркала рис.1.

Основными параметрами высокоскоростной съемки являются размер снимаемого кадра, частота кадров, экспозиция. Размер снимаемого кадра имеет большое значение. Например, при съемке на цифровую камеру тела размером 2 мм, разлет осколков, при общем размере кадра 300x300мм для получения картинка нормального качества необходимо иметь разрешение не менее 300x300пикселей.

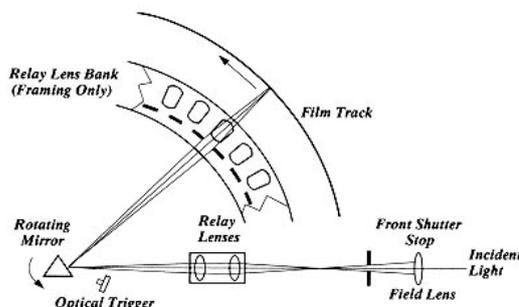


Рис.1. Общая схема регистрации изображения с использованием вращающегося зеркала.

Частота кадров съемки должна соответствовать скорости протекания процесса, например съемка тела на скорости 1000 м/с на 30 см области траектории соответствует времени прохождения телом данной области за 300 мкс. Для получения 10 кадров полета тела на этом участке частота кадров съемки должна составлять около 30000 к/сек. Для уменьшения размытости кадра должна быть выбрана правильная экспозиция (то есть соотношение времени выдержки и открытия диафрагмы).

В НИИПММ ТГУ проводятся пусконаладочные работы по применению высокоскоростной камеры Cordin 530. Со следующими характеристиками: максимальная частота кадров съемки составляет 200000 к/сек, минимальной экспозицией 400 нс, разрешением кадра 1000x1000 пикселей, продолжительностью съемки камеры составляет 16 кадров. Возможности камеры Cordin 530 позволяют снимать процессы, полное время видео регистрации которых составляет от 80 мкс до 16000 мкс, с частотой кадров от 1000 до 200000 к/сек, экспозициями от 20 до 0,4 мкс.

Высокая скорость съемки и малые времена экспозиций требуют большую освещенность объекта съемки. При высокоскоростной съемке процесса с использованием источника постоянного освещения требуется очень большая мощность осветителя порядка нескольких киловатт. Так же, для съемки быстропротекающих процессов могут использоваться импульсные источники освещения.

При проведении отладочных экспериментов качестве метательной установки использовалась пневматическая винтовка ИЖ-38, калибра 4,5мм. В качестве метаемого элемента использовалась стандартная свинцовая пуля, показанная на рис. 2, массой 0,3 г.



Рис.2. Вид метаемой пушки, для пневматической винтовки.

Выстрел производился при следующих условиях эксперимента: частота кадров съемки 20000 к/сек, временной промежуток между кадрами составляет 50 мкс, экспозиция 4 мкс, продолжительность времени записи 800 мкс. Скорость тела в момент контакта составила 180 м/с. На рис.3 приведены кадры взаимодействия свинцовой пушки с листом бумаги.

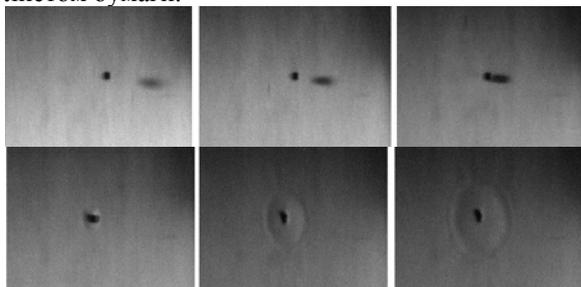


Рис.3. Взаимодействие пушки и бумажного листа.

На рис.4 показаны кадры взаимодействия свинцовой пушки с металлической пластиной.

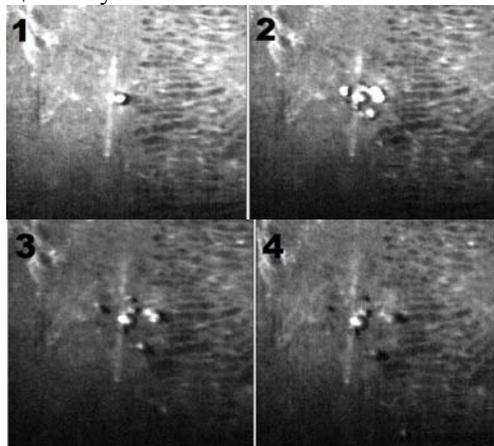


Рис.4. Взаимодействие пушки с металлической пластиной.

Синхронизация момента записи камерой осуществлялась по сигналу от бесконтактного блокирующего устройства, расположенного на определенном расстоянии от места съемки. После отладки стабильного срабатывания систем синхронизации и импульсных осветительных систем, была проведена серия экспериментов с использованием метательной установки калибром 18 мм. В качестве метаемого снаряда использовалась сборка из центрального алюминиевого метаемого элемента и пластмассового контейнера, показанная на рис. 5.



Рис.5. Вид метаемой сборки, для установки калибром 18мм.

На камеру фиксировался момент вылета снаряда из датчика скорости, находящегося на конце ствола. При следующих условиях эксперимента: частота кадров съемки 60000 к/сек, время между кадрами составляет 16,5 мкс, экспозиция 1,6 мкс, продолжительность записи 265 мкс. Синхронизация момента записи камерой осуществлялась по сигналу от датчика скорости.

На рис.6 приведена нарезка кадров вылета пули из датчика скорости. Дульная скорость тела составила 926 м/с, масса метаемой сборки 11 грамм.

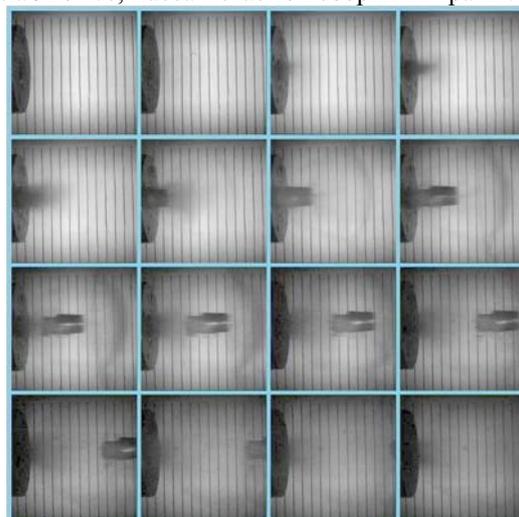


Рис.6. Пуля в раскрывающемся контейнере, в момент вылета из ствола.

На кадрах видно раскрытие лепестков сборки, по увеличению общего диаметра снаряда. Зная время между кадрами и расстояние пролетаемое снарядом можно оценить скорость движения снаряда.

#### Литература:

1. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / под ред.: Н. А. Златина, Г. И. Мишина. – М.: Наука, 1974. – С.157-163.
2. Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов / Дубовик А.С. – М.: Наука, 1989.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ СБОРА СФАГНОВЫХ МХОВ НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Емельянова А.П.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к.ф.-м.н., доцент  
Томский политехнический университет, Ленина,30, Томск, 634050, Россия

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

### Введение

Мохообразные остаются малоизученной и редко используемой в официальной медицине группой высших растений, в то время как имеются многочисленные данные об их применении в народной медицине. Ярким примером этого является многовековая история использования растений рода Sphagnum. Сфагнум (Sphagnum), называемый также белым или торфяным мхом, преимущественно произрастает густыми плотными скоплениями, образующими крупные подушки или сплошные ковры на сфагновых болотах; реже сфагновые мхи встречаются во влажных лесах.

В народной медицине мох с древних времен применяется как гигроскопический и перевязочный материал, который в экстренных случаях можно использовать без стерилизации. Ценность этого мха, как перевязочного средства, обуславливается: высокой влагоемкостью и всасывающей способностью; свойством поглощать газы; кислотностью, которая препятствует развитию патогенных (болезнетворных) микробов; мягкостью, эластичностью и легкостью в воздушно-сухом состоянии[1].

Всасывающая способность у мха в 4 раза сильнее, чем у гигроскопической ваты: на 1 часть мха впитывается 20 частей воды. Кроме того экстракты сфагновых мхов применяют при кишечных заболеваниях, а ванны — для лечения ревматизма. Раньше часто применяли сфагновый мох в качестве дезинфицирующего средства при эпидемиях — холере и чуме, а также для остановки кровотечения[2].

В последние годы мхи широко используются при проведении экологических исследований в качестве тест-объектов, которые чутко реагируют на антропогенные воздействия, изменяя свои характеристики или аккумулируя поступающие из окружающей среды элементы. Мхам принадлежит существенная роль в процессе первичной аккумуляции веществ, выпадающих на земную поверхность. При этом концентрация ве

ществ во мхах значительно выше, чем в травянистой растительности[2,3]. Несмотря на широкое применение в экологических и медицинских целях, данные о влиянии времени сбора сфагновых мхов на содержание в них химических элементов отсутствуют.

Целью данной работы является изучение влияния времени отбора на содержание химических элементов в сфагновых мхах.

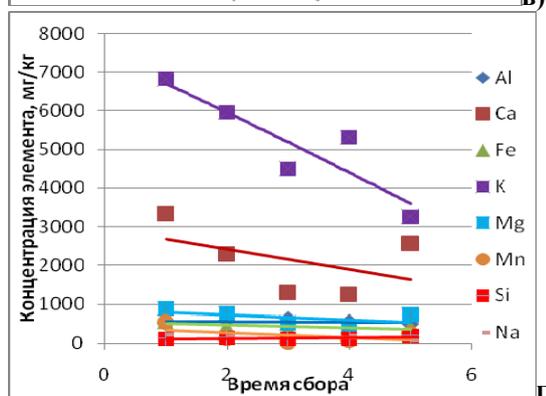
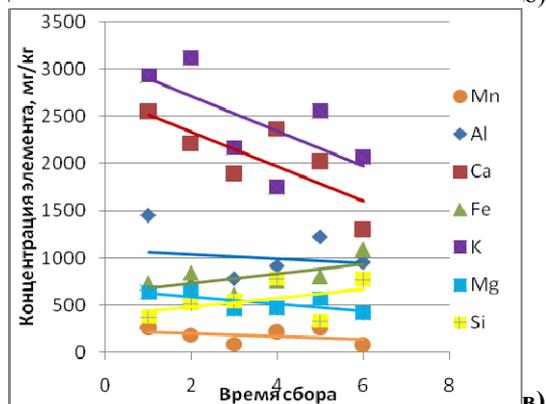
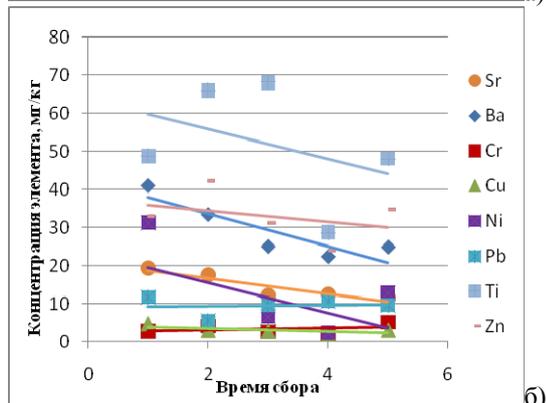
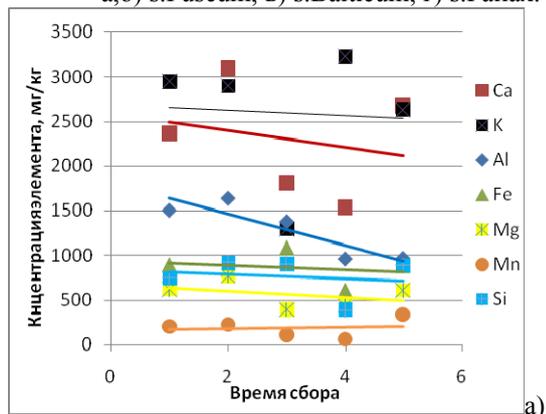
### Подготовка образцов растительности к измерениям

Для исследований были отобраны образцы сфагновых мхов четырех видов: S.Fuscum, S.Magellanicum, S.Balticum и S.Fallax. Мхи собирали на Чагинском болоте Томской области ежемесячно с мая 2010г по октябрь 2010г.

Пробоподготовка проб - важная часть экологического и химического анализа. От того, насколько правильно будет выполнена пробоподготовка, зависит точность и правильность работы оборудования. Большинство ошибок и сбоев происходит из-за некачественной пробоподготовки.

Из отобранных и высушенных образцов мха удаляли хвоинки, опавшие листья и другие инородные примеси, далее образцы измельчали в керамической ступке до размеров 1-3 мм. Из объединенной пробы методом квартования выделяют представительную пробу. Для этого измельченные образцы разравнивают на гладкой, чистой, ровной поверхности в виде квадрата по возможности тонким равномерным по толщине слоем и по диагонали делят на четыре треугольника. Два противоположных треугольника сырья удаляют, а два оставшихся соединяют вместе и перемешивают. Процедура повторяется несколько раз. Подготовленные таким образом пробы упаковывали в бумажные пакеты и передавали на анализ. Измерения концентраций химических элементов проведены на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «iCAP 6300 Duo» в научно-аналитическом центре НИ ТПУ; погрешность измерений определяется методикой измерений и составляет 10-40%. Для каждого образца проведено по 3 параллельных измерения, по которым вычислено среднее значение концентраций. Измерено содержание 16 химических элементов: Ca, K, Al, Ti, Ba, Ni, Sr, Mg, Fe, Si, Mn, Pb, Cu, Cr, Na.

**Рис.1** Зависимость концентрации химических элементов от времени сбора во мхах:  
а,б) *s.Fuscum*; в) *s.Balticum*; г) *s.Fallax*.



### Результаты и их анализ.

Анализ результатов атомно – эмиссионной спектроскопии по содержанию химических элементов в разных видах сфагновых мхов позволяет сделать следующие выводы:

-Во мхах *s.Fuscum*, *s.Balticum*, *s.Fallax* прослеживается тенденция к уменьшению концентраций Ca, K, Al, Ti, Ba, Ni, Sr, Mg в зависимости от времени сбора с мая по октябрь. Наибольшее содержание данных химических элементов в образцах, отобранных в мае, можно объяснить сорбцией химических элементов, содержащихся в талых водах. Наибольшее уменьшение концентраций химических элементов (примерно в 2 раза) наблюдается для Al, Ti, Ba, Ni в пробах *s. Fuscum* (Рис.1 а,б); для Ca, K в пробах *s. Balticum* и *s. Fallax* (Рис.1 в,г).

- Значения концентраций Fe, Si, Mg, Mn, Pb, Cu, Cr, Na в образцах мхов *s.Fuscum*, *s.Balticum*, *s.Fallax*, собранных в различные месяцы (с мая по октябрь), практически постоянны(Рис.1).

-Концентрации химических элементов, содержащихся в образцах мха *s.Magellanicum* не показали какой-либо зависимости от времени сбора.

На основе полученных результатов можно сказать, что в целом время сбора незначительно влияет на содержание измеренных химических элементов (Ca, K, Al, Ti, Ba, Ni, Sr, Mg, Fe, Si, Mg, Mn, Pb, Cu, Cr, Na) в пробах сфагновых мхов *s.Fuscum*, *s.Balticum*, *s.Fallax*, *s. Magellanicum*.

### Список литературы:

1. Ловкова, М. Я. О возможности использования лекарственных растений для лечения и профилактики микроэлементозов и патологических состояний / М. Я. Ловкова, Г. Н. Дузук, С. М. Соколова, Л. Н. Деревяго //Микроэлементы в медицине. – 2005. – Т. 6, № 4. – С. 3-9.
2. Бабешина Л.Г. Сфагновые мхи Томской области и перспективы их применения в медицине: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2002. 19 с
3. Губина Л.А. ВКР «Изучение содержания микроэлементов во мхах, используемых в медицине и экологии», 2009. Рук.: доцент, к. физ.-мат. н. Рыжакова Н.К. ТПУ, ФТФ, Томск.

## ФОРВАКУУМНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПЛАВКИ, СВАРКИ И МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Зенин А.А., Казаков А.В. Климов А.С.

Научный руководитель: Окс Е.М., д.т.н., профессор

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: [z-a-a@sibmail.com](mailto:z-a-a@sibmail.com)

Представлен форвакуумный электронно-лучевой технологический комплекс, предназначенный для проведения ряда технологических операций обработки непроводящих материалов, а именно модификации поверхности, плавки, сварки, размерной обработки как проводящих материалов и изделий, так и диэлектриков, в частности различных видов керамик.

### 1. Введение

Электронно-лучевые технологии плавки, испарения, сварки, размерной обработки металлов получили в настоящее время достаточно широкое распространение. В то же время практически отсутствуют электронно-лучевые технологии обработки непроводящих материалов, что обусловлено диапазоном давлений ( $10^{-3}$  -  $10^{-1}$  Па), реализуемых в существующих технологических установках. При работе в этом диапазоне давлений происходит накопление на диэлектрике электрического заряда, что приводит к изменению траектории пучка, а следовательно, и характеру взаимодействия пучка с веществом мишени [1].

### 2. Описание комплекса

Электронно-лучевая обработка диэлектриков возможна лишь при создании специальных условий для нейтрализации отрицательного заряда, накапливаемого на поверхности обрабатываемого изделия при его облучении ускоренными электронами. Такие условия могут быть выполнены, например, в результате одновременного воздействия на поверхность электронами и ионами, погружения обрабатываемого изделия в плазму или нагрева диэлектрика до температур, при которых появляется заметная электропроводность, обеспечивающая стекание заряда. Среди диэлектриков, потенциально пригодных в качестве объекта пучковой обработки, наибольший интерес представляют различные типы керамик. Для них температура нагрева до возникновения заметной электропроводности составляет 1500-1700 °С, что значительно усложняет процесс обработки и не всегда применимо, особенно при создании сложных узлов. Для всех вышеупомянутых случаев требуется привлечение специального дополнительного оборудования, приводящего к существенному усложнению, а, следовательно, и удорожанию процесса обработки.

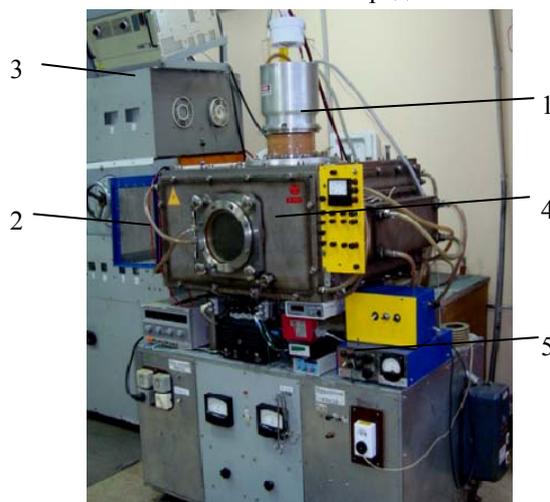
Плазменные источники электронов – устройства, основанные на отборе электронов из газоразрядной плазмы, отличаются принципиальной возможностью эффективной работы в области повышенных давлений ( $5 \div 15$  Па). Вследствие этого

генерация электронного пучка сопровождается образованием в области его транспортировки плазмы, концентрация которой ( $10^{10}$  –  $10^{11}$  см<sup>-3</sup>) [2] оказывается достаточной для эффективной нейтрализации отрицательного заряда, возникающего на поверхности непроводящей мишени под действием пучка электронов.

Разработанный на базе форвакуумного источника электронов [3] технологический комплекс (рис.1) может быть применен для ряда технологических операций обработки непроводящих диэлектрических материалов и изделий, в частности керамических, таких как размерная обработка, получение отверстий, сварка, модификация поверхности.

Рис. 1. Внешний вид технологического комплекса:

- 1,2 – форвакуумные источники электронов,
  - 3 – источники электропитания, 4 – технологическая вакуумная камера, 5 – система управления
- Технологический комплекс представляет собой



прямоугольную вакуумную камеру с двумя установленными под углом  $90^\circ$  друг к другу форвакуумными источниками электронов. Применение двух источников электронов позволяет осуществлять равномерный нагрев поверхности обрабатываемых образцов и изделий, что, в конечном счете, улучшает качество технологических операций.

Воздействие сфокусированного ускоренного электронного пучка на образцы и изделия из стекла, кварца и керамики приводит к локальному плавлению материала в зоне воздействия пучка, а при увеличении длительности экспозиции область расплава превращается в сквозное отверстие (рис.2).



Рис. 2. Поперечное сечение отверстия, полученного в результате электронно-лучевого воздействия на алюмооксидную керамику ВК94-1. Диаметр пучка 4 мм, удельная мощность 17 кВт/см<sup>2</sup>

Для получения качественного сварного шва (Рис.3) очищенные и обезжиренные, прижатые друг к другу цилиндрические детали закрепляются на механизме вращения. С целью предотвращения растрескивания производится прогрев образцов в течение 30 мин. расфокусированными электронными пучками, после чего пучок одного из источников электронов фокусируется на стыке трубок и его энергия равномерно увеличивается от 2 кэВ до максимального значения и производится сварка. После сварки пучок расфокусируется и его мощность плавно снижается.

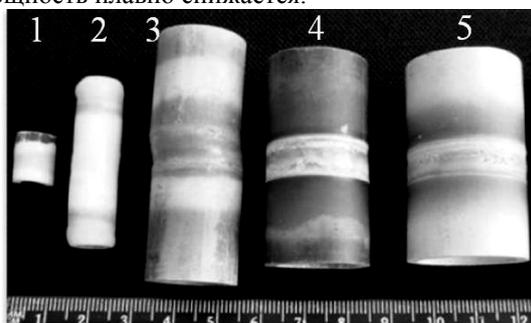


Рис.3. Полученные электронно-лучевой технологией сварные соединения:

1 – ВК-100, 2,5 – ВК-94-1, 3,4 – фарфор

При испытании полученных электронно-лучевой технологией соединений деталей из алюмооксидной керамики получены следующие параметры: механическая прочность на излом не менее 60 МПа, стойкость к термоциклированию – не менее 10 циклов нагрева до 900 С и охлаждения до комнатной температуры, вакуумная плотность, позволяющая производить откачку до давления не выше  $10^{-3}$  Па.

Разработанный комплекс позволяет создавать сварные металлокерамические соединения.



Рис.4. Металлокерамическое сварное соединение керамики на основе талько-шамотной смеси с титаном (титан справа)

Полученный металлокерамический шов сохраняет целостность после ручных манипуляций, что свидетельствует о перспективности предлагаемого метода создания металлокерамических узлов.

#### Заключение

Разработанный технологический комплекс применим для таких технологических операций как размерная обработка, сварка, модификация поверхности проводящих, и диэлектрических, в частности керамических, образцов и изделий. Он может быть востребован при производстве электровакуумных приборов, металлокерамических изоляторов, для создания цельных керамических изделий сложной формы, например изделий, содержащих полости, для получения металлокерамических соединений, для проведения органического синтеза и др.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 11-08-98004-р\_сибирь\_а, 11-08-12052-офи-м.

#### Список литературы:

1. Филачев А. М. Фукс Б. И. Проблемы электронно-лучевой обработки диэлектриков. Прикладная физика №3, 1996, 39-46.
2. I.S. Zhirkov, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks, I.V. Osipov. Formation of narrow-focused electron beams generated by a source with a plasma cathode in the forevacuum pressure range. Technical Physics. 2006. Vol. 51. No. 6. P. 786-790.
3. Бурдовицин В.А., Жирков И.С., Окс Е.М., Осипов И.В., Федоров М.В. Источник электронов с плазменным катодом для генерации сфокусированного пучка в форвакуумном диапазоне давлений. ПТЭ, 2005. № 6, с.66-68.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ВЧ ПЛАЗМЕ

Д.А. Ижойкин, И.А. Ушаков

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [izhoykinda@tpu.ru](mailto:izhoykinda@tpu.ru)

В современных условиях низкотемпературная высокочастотная (ВЧ) плазма широко используется для переработки веществ, формирования материалов с заданными свойствами (наноинженерия), а также для сепарации изотопных смесей. Важным параметром при моделировании таких процессов является гранулометрический состав конденсированной фазы, являющейся компонентом практически любой технологической плазмы.

Цель работы – разработка методов формирования конденсированной фазы заданной дисперсности.

Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях известны с 70х годов 20 века [1] и широко изучаются в настоящее время. Активно разрабатываются методы интенсификации химических реакций с участием парамагнитных радикалов в условиях неравновесной гетерогенной плазмы [2].

Внешнее магнитное поле изменяет физико-химические процессы, протекающие в плазме: электронный терм расщепляется на два Зеемановских уровня. При этом возможен как обмен фазами прецессии спинов радикалов, так и переворот направлений спинов валентных электронов. Образование новой молекулы при столкновении двух радикалов возможно лишь для синглетных пар.

Для оценки влияния внешнего магнитного поля на процесс формирования дисперсной фазы, протекающий в высокочастотном факельном

разряде, нами использован метод спектральной прозрачности, позволяющий проводить безотборный анализ дисперсной фазы в диапазоне размеров 0,05 – 1,5 мкм. Метод заключается в просвечивании излучением оптического диапазона исследуемой гетерофазной среды и анализе спектра пропускания. Задача обработки экспериментальных данных сводится к решению обратной задачи рассеяния света системой дисперсных частиц по интегральному уравнению Фредгольма I рода с экспериментальными данными [3]:

$$\int_{R_1}^{R_2} K(r, \lambda) s(r) dr = \beta(\lambda), \quad (1)$$

где  $(R_1 - R_2)$  – диапазон размеров частиц;  $K(r, \lambda)$  – фактор эффективности рассеяния дисперсной частицы;  $\lambda$  – длина волны;  $s(r)$  – функция распределения дисперсных частиц по размерам;  $\beta(\lambda)$  – спектр пропускания.

Нами спроектирован и собран плазмохимический стенд, схема которого представлена на рис.1. В плазмотроне формировали факельный разряд с помощью ВЧ генератора 4 кВт, 27 МГц. Плазмообразующие газы подавали тангенциально в верхнюю часть плазмотрона. Холодный газ при движении вдоль стенок плазмотрона к ВЧ электроду нагревается. При этом при тех же затратах энергии формируемая плазма имеет более высокую температуру, что способствует нагреву и испарению материала электрода при вводе с него атомов в плазменный поток.

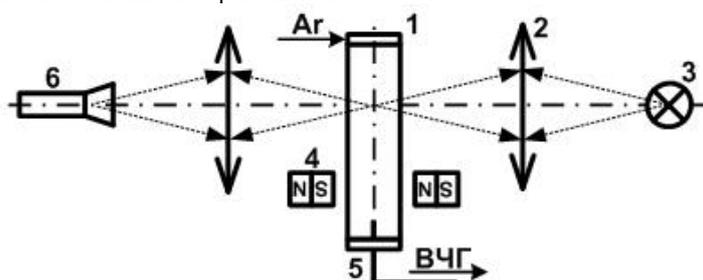


Рис.1. Принципиальная схема плазмохимического стенда

1 – плазмотрон, 2 – собирающая линза, 3 – светодиод, 4 – постоянный магнит, 5 – ВЧ электрод, 6 – спектрометр.

Магнитное поле, формируемое магнитами из сплава Nd-Fe-B (1,3 Тл), ориентированное перпендикулярно к оси плазмотрона. Магнитное поле вызывает прецессию спинов неспаренных электронов плазменных частиц. При этом значительно сокращается количество возможных комбинаций пространственных ориентаций спинов валентных электронов сталкивающихся радикалов. При этом

прецессия спинов может оказывать влияние на условия формирования дисперсной фазы.

Для зондирования дисперсной фазы использовался светодиод (СИД 3 Вт, 4200К, 450 нм). Регистрацию спектра осуществляли с помощью спектрометра со спектральным разрешением 0,35 нм. Спектры излучения СИД, прошедшего плазменный поток, приведены на рис.2 (без магнитного поля – линия 1 и с магнитным полем – линия 2).

Коэффициенты пропускания определяли по формуле:  $K(\lambda) = U(\lambda) : U_0(\lambda)$ .

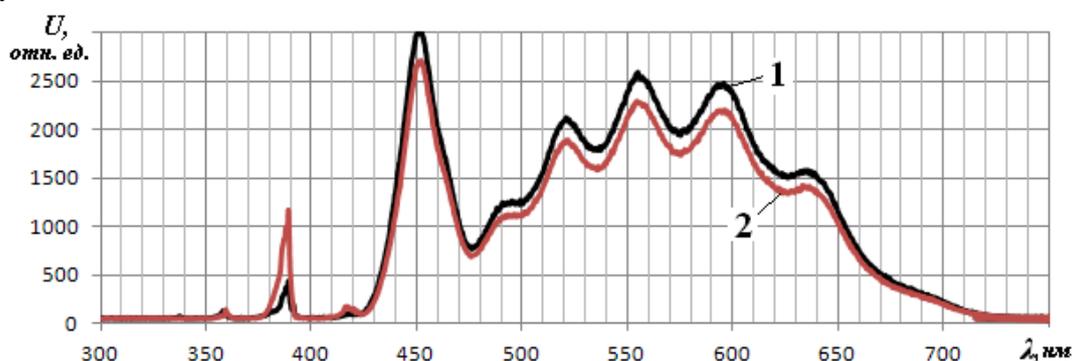


Рис.2. Спектры СИД

Графики спектрального хода коэффициентов пропускания гетерогенной плазмы, определенные из экспериментальных данных, приведены на рис.3.

Линейчатый спектр в области 380 – 390 нм на графиках соответствует атомарному излучению.

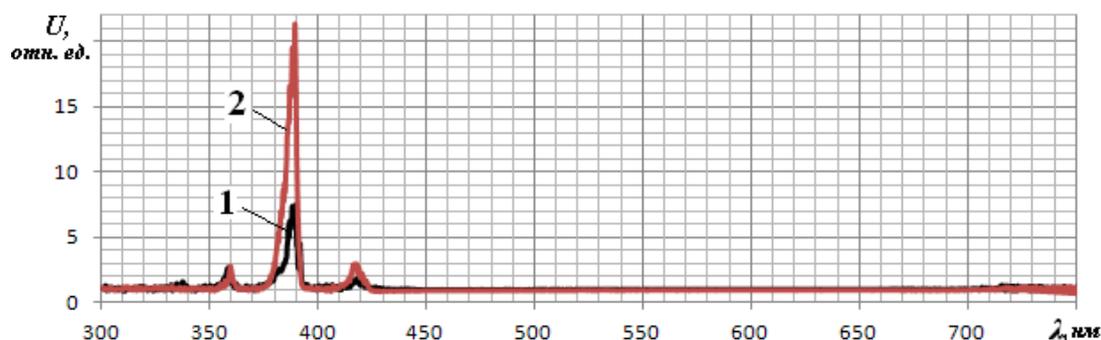


Рис.3. Спектральный ход коэффициентов пропускания

Из рисунков 2 и 3 видно, что в магнитном поле наблюдается большее ослабление интенсивности излучения СИД. Это может быть связано с лучшими условиями образования дисперсных частиц. Также заметно значительное увеличение интенсивности линий собственного свечения атомарного углерода, что может быть связано с преобладанием кластеров ( $C_2$ ,  $C_4$ ), излучающих линейчатый спектр и оказывающих значительное влияние на условия распространения зондирующего излучения. Установлено, что в магнитном поле коэффициенты пропускания зондирующего излучения в коротковолновой области до 1,2 раза выше. В длинноволновой области спектра наблюдается ослабление зондирующего излучения в 1,1 раза. Более значительное влияние магнитного поля на ослабление излучения будет наблюдаться в ультрафиолетовой части спектра.

Изменяя пространственную ориентацию магнитного поля относительно плазмотрона, установили, что область плазмы, в которой воздействие магнитного поля максимально, наблюдается на коротком отрезке вдоль оси плазменного потока. Эта область совпадает с областью интенсивного формирования дисперсной фазы.

Вывод. В условиях низкотемпературной плазмы магнитное поле оказывает влияние на условия формирования дисперсной фазы, что позволяет предполагать о возможности изотопной сепарации между газовой и дисперсной фазами.

Исследования выполнялись в рамках гранта ФЦП № 2010-1.2.1-102-019\_31 (ГК 16.740.11.0152).

#### Список литературы:

1. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях // Новосибирск: Наука. 1978 – 296 с.
2. Мышкин В.Ф., Хан В.А., Ижойкин Д.А. и др. Определение параметров нанодисперсного углерода при плазмохимическом разделении изотопов // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - 2011 - №. 70 - С. 274-296.
3. Хан В.А., Мышкин В.Ф., Панков А.В. и др. Исследование ультрадисперсных частиц в суспензиях // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – 2009. – №52. –С. 1-11.

## СИНТЕЗ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК В ПЛАЗМЕ НАНОСЕКУНДНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА

Кованцев А. С.<sup>1,2</sup>, Сачков В. И.<sup>2</sup>, Сосновский С. А.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Власов В. А.

1. Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
2. Сибирский физико – технический институт ТГУ, 634050, Россия, г. Томск, пл. Новособорная 1  
E-mail: [Alex.Kovancev@gmail.com](mailto:Alex.Kovancev@gmail.com)

Современный научно-технический прогресс требует исследования и освоения методов по созданию новых функциональных материалов. Перспективные материалы должны обладать сочетанием различных физических и химических свойств в зависимости от целей. Существуют природные материалы, отвечающие современным требованиям. К таким материалам относится алмаз, обладающий уникальными свойствами. Однако возникают проблемы использования природного алмаза, связанные с его высокой стоимостью, обработкой и размерами кристаллов. Отсюда следует необходимость разработки метода получения искусственного алмаза с заданными свойствами и геометрией поверхности.

Алмазные пленки (АП) привлекают к себе большое внимание благодаря таким уникальным свойствам[1,2] как: сверхвысокая твердость, низкие коэффициенты термического расширения и трения, высокая теплопроводность (в 5 раз выше, чем у меди и серебра при комнатной температуре), прозрачность в широком спектральном диапазоне электромагнитного излучения (от рентгеновского до инфракрасного, за исключением ультрафиолетовой части спектра), высокая подвижность носителей заряда, большая ширина запрещенной зоны, возможность получения полупроводникового алмаза, высокий порог электрического пробоя, стойкость к большим экспозициям ядерной радиации и потокам высокоэнергетических частиц, химическая инертность.

В данной работе синтез алмазной пленки проводился путем осаждения из газовой фазы активной плазмы наносекундного импульсного разряда (НИР). В качестве источника питания использовался генератор высоковольтных наносекундных импульсов (ГВИ) «Протей» - 1.

Таблица 1. Технические параметры ГВИ семейства «Протей».

Характеристики	Протей - 1	Протей - 2	Протей - 3
Амплитуда выходного импульса, кВ	300 Ом – 15 2000 Ом - 25	50 Ом - 25	50 Ом - 30
Длительность импульса на полувысоте, нс	500	40	4
Длительность переднего фронта, нс	150	10 - 20	1
Энергия в импульсе, Дж	0,4	0,3	0,2
Частота повторения импульсов, кГц	0,2 - 2		
Потребляемая мощность, кВт	2		
Питание	220 В, 50 Гц		

На рисунке 1 представлена схема установки.

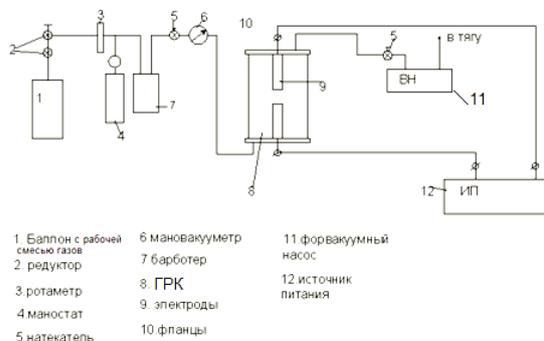


Рис 1. Функциональная схема установки для синтеза АП.

Лабораторная установка представляет собой кварцевую вакуумную камеру внутри которой находятся газоразрядные электроды. Подложка размещается на нижнем электроде. В нижний электрод вмонтирован нагревательный элемент, обеспечивающий возможность нагрева подложки до 1000 °С. Система газоснабжения обеспечивает ввод и вывод газовой смеси.

### Результаты экспериментов.

Осаждение АП проводилось на подложки из кремния или молибдена. Предварительно был произведен засев ростовой поверхности наноразмерным порошком алмаза. Эксперименты проводились в течении шести часов. На рисунках 2 и 3 представлены фотографии образцов до и после эксперимента.



Рис. 2. Подложка кремния: (а) - чистый кремний; (б) – частицы алмаза на подложке

Рис. 3. Подложка молибдена: (а) – чистый молибден; (б) – частицы алмаза на подложке.

Анализ полученных образцов методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) показал, что на поверхности подложки образуется алмазное покрытие. На рисунке 4 приведены полученные

спектры, которые соответствуют известным спектрам алмаза[3]. Сдвиг спектра в область больших значений свидетельствует о наличии нанокристаллического алмаза. Предполагается, что наличие наночастиц алмаза после длительного эксперимента обусловлено зарождением новых центров роста.

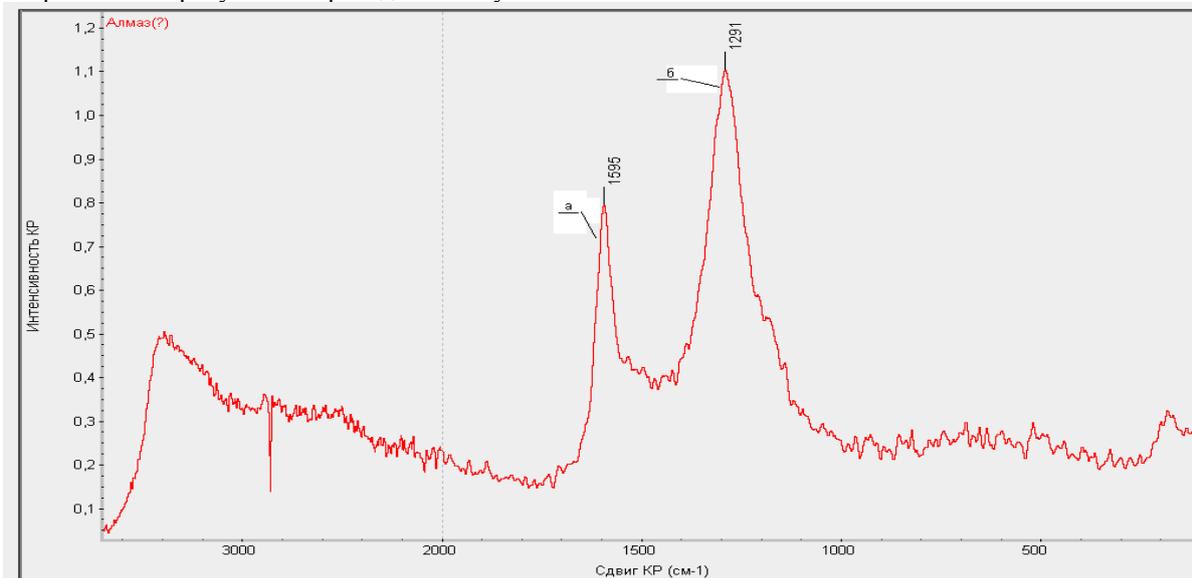


Рис. 4. Спектр КР алмазной пленки на кремниевой подложке.

#### Заключение

В результате работ разработаны основы нового перспективного способа нанесения АП, основанного на использовании плазмы НИР.

Выполненные экспериментальные исследования подтвердили практическую возможность синтеза алмазной пленки в плазме наносекундного импульсного разряда.

Получены образцы пленок на подложках из кремния и молибдена диаметром 40 мм.

Дальнейшие эксперименты будут направлены на повышение скорости роста и на отработку многоэлектродных секционированных разрядных камер, для создания широкоапертурных напылительных установок.

#### Список литературы:

1. Ральченко В.Г., Савельев А.В. и др. Двухслойные теплоотводящие диэлектрические подложки алмаз-нитрид алюминия. – Микроэлектроника, 2006, т.35, №4, с.243.
2. Стрельницкий В.Е., Аксенов И.И. Пленки алмазоподобного углерода. – Харьков.: ИПП «Контраст», 2006. – 344 с.
3. С. Тихомиров, Т. Кимстач // Спектроскопия комбинационного рассеяния – перспективный метод исследования углеродных наноматериалов.// Методология. Аналитика 1/2011 с. 28 – 32.

## МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ ОТ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ

Корепанова Н.В., Копылов А.В., Каренгин А.А.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [nadezhda\\_kv@bk.ru](mailto:nadezhda_kv@bk.ru)

После очистки пресной воды на Томском подземном водозаборе в год образуется около 30 000 куб. м. осажённой гидроокиси железа (III), в результате переработки которой может быть получено около 6 000 т чистых железоксидных пигментов в виде магнитной  $Fe_2O_3$  или немагнитной  $Fe_3O_4$ .

В процессе добычи и переработки нефти образуются нефтяные шламы, включающие тяжёлые нефтепродукты (асфальтены, смолы, масла и др.), воду и механические примеси (песок, ил). Ежегодный прирост таких отходов только в России достигает миллионов тонн, а плановые платежи за их размещение и хранение составляют миллиарды рублей [1].

Плазменная технология переработки таких отходов предусматривает «мокрую» очистку отходов из плазменного реактора газов от твёрдых продуктов утилизации [1,2].

В связи с этим представляет интерес применение магнитной сепарации для постоянного извлечения из водных суспензий после узла «мокрой» очистки отходящих из плазменного реактора газов магнитных железоксидных пигментов.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки для совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации твёрдых продуктов плазменной утилизации гидроокиси железа в виде магнитной  $Fe_2O_3$ .

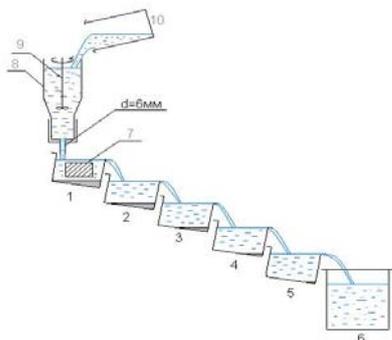


Рис.1 Схема экспериментальной установки для совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации твёрдых продуктов плазменной утилизации гидроокиси железа.

1÷6 – ёмкости для ступенчатого осаждения порошков из суспензий ( $V=0,3$  л); 7 – магнит;  
8 – смеситель; 9 – мешалка ( $V=1$  л);  
10 – ёмкость с исходной суспензией.

Для магнитного осаждения железосодержащих пигментов использовались магниты М1 ( $50 \times 30 \times 10$  мм; 0,3 Тл) и М2 ( $30 \times 25 \times 10$  мм; 0,1 Тл), изготовленные из сплава Fe-Nd-B.

Вначале ёмкости 1÷6 были заполнены обычной водой. Далее готовилась водная суспензия на основе порошка  $Fe_2O_3$  с исходной массовой концентрацией 10, 20 и 30 г/л.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований по совместному гравитационному осаждению и магнитной сепарации из водных суспензий на магните (М1) порошков  $Fe_2O_3$  с начальной концентрацией 10 г/л, 20 г/л и 30 г/л, полученных в процессе переработки в воздушной плазме оптимальных водноорганических композиций (ВОК) из водных суспензий на основе гидроокиси железа.

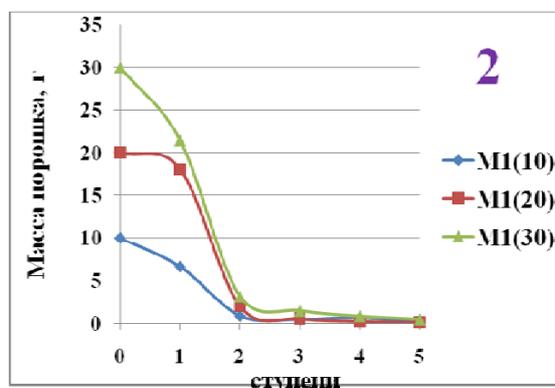


Рис. 2 Эффективность совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации порошков  $Fe_2O_3$  из водных суспензий (10 г/л, 20 г/л и 30 г/л)

Из анализа графиков следует что, при исходной концентрации порошка  $Fe_2O_3$  в водной суспензии от 10 г/л до 20 г/л, основная масса порошка  $Fe_2O_3$  осаждается уже на первой ступени ( $\approx 70\%$ ).

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований по сравнительному совместному гравитационному осаждению и магнитной сепарации из водных суспензий на магнитах (М1) и (М2) порошков  $Fe_2O_3$  с начальной концентрацией 20 г/л, полученных в процессе переработки в воздушной плазме ВОК на основе гидроокиси железа.

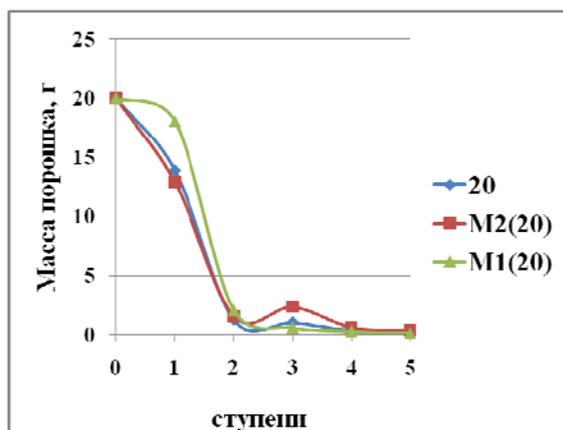


Рис. 3 Эффективность совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации порошков  $Fe_2O_3$  на магнитах (M1) и (M2) из водных суспензий (20 г/л)

Из анализа графиков на рис. 3 следует что, при одинаковом исходном содержании порошка  $Fe_2O_3$  в водной суспензии 20 г/л, применение магнитной сепарации увеличивает извлечение из водной суспензии магнитных порошков  $Fe_2O_3$ . Максимальное извлечение порошка окиси железа достигается при использовании магнита M1, обладающего максимальной индукцией 0,3 Тл.

На рисунке 4 показана сравнительная эффективность только гравитационного осаждения магнитных порошков  $Fe_2O_3$  (без магнитов M1 и M2) и совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации из водных суспензий магнитных порошков  $Fe_2O_3$  (с магнитами M1 и M2)

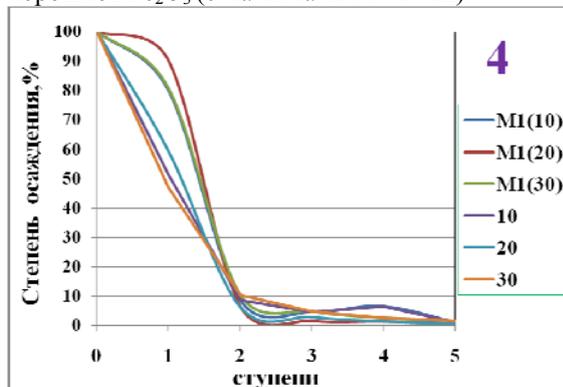


Рис. 4 Степень осаждения порошков  $Fe_2O_3$  при гравитационном осаждении и совместном гравитационном осаждении и магнитной сепарации порошков  $Fe_2O_3$  из водных суспензий (10 г/л, 20 г/л и 30 г/л)

Из анализа полученных результатов следует, что применение магнитной сепарации позволяет увеличить извлечение из водных суспензий магнитных порошков окиси железа  $Fe_2O_3$  с 50% до 90%, полученных в процессе переработки в воздушной плазме оптимальных по составу водноор-

ганических композиций на основе гидроокиси железа.

На рисунке 5 показана эффективность совместного гравитационного осаждения и магнитной сепарации магнитных железосодержащих порошков из водных суспензий после плазменной утилизации нефтяных шламов, в которых содержание магнитной окиси железа  $Fe_2O_3$  не превышало 6,2%.

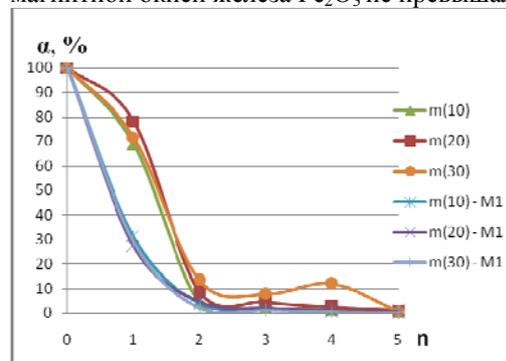


Рис. 5 Степень осаждения порошков  $Fe_2O_3$  при гравитационном осаждении и совместном гравитационном осаждении и магнитной сепарации из водных суспензий (10 г/л, 20 г/л и 30 г/л).

Из анализа графиков следует, что применение магнитной сепарации также позволяет увеличить извлечение из водных суспензий магнитных порошков окиси железа  $Fe_2O_3$ , после плазменной утилизации нефтяных шламов с 30% до 70÷80%.

Это свидетельствует о том, что применение магнитных сепараторов после узла «мокрой» очистки твердых продуктов плазменной утилизации железосодержащих отходов в виде оптимальных водноорганических композиций позволит постоянно извлекать из водной суспензии значительную часть магнитного порошка  $Fe_2O_3$  для последующего использования, например, при производстве красящих пигментов и лакокрасочной продукции.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании узлов «мокрой» очистки отходящих газов для передвижных и стационарных промышленных плазменных установок плазменной утилизации нефтяных шламов.

#### Литература:

1. Каренгин А.Г., В.А. Ляхова, Шабалин А.М. Установка плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса.- 2007. №4. с.10-12.
2. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Побережников А.Д. Плазменное получение жаростойких пигментов двуокиси циркония // Известия вузов. Физика - т. 54, 2011, - №11. - с.369-372.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ЭКРАНА КОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

К.О. Кручинин, Ю.С. Талаева

Научный руководитель: Потылицын А.П., д.ф.-м.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [konkruz@gmail.com](mailto:konkruz@gmail.com)

### Дифракционное излучение от прямоугольного экрана

Дифракционное излучение (ДИ) возникает при пролете заряженной частицы вблизи оптической неоднородности, например, при движении заряда в вакууме вблизи проводящего экрана [1]. Данное явление возникает в результате динамической поляризации атомов среды полем быстрой заряженной частицы. Потери энергии частицей на поляризационное излучение обычно считаются пренебрежимо малыми по сравнению с ее полной энергией, поэтому движение частицы можно рассматривать как равномерное и прямолинейное. В последние годы обсуждаются идеи использования ДИ для невозмущающей диагностики пучков ускорителей [2].

Рассмотрим задачу об излучении, возникающем при наклонном пролете точечной заряженной частицы с энергией  $\gamma = E/mc^2$  вблизи прямоугольного экрана, обладающего конечной диэлектрической проницаемостью и частотной дисперсией (см. Рис.1).

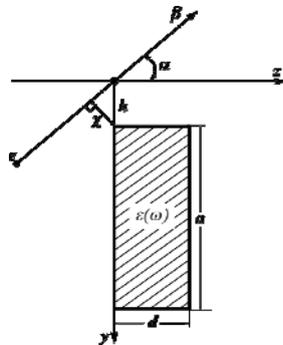


Рис.1. Схема генерации ДИ от экрана

Для нахождения характеристик излучения воспользуемся т.н. методом поляризационных токов, который детально описан в работе [3]. Согласно данному методу поле излучения в среде (в волновой зоне), в нашем случае может быть найдено как:

$$\mathbf{H}^{pol}(\mathbf{r}, \omega) = \frac{2\pi i}{c} \frac{e^{i\sqrt{\varepsilon(\omega)r}/c}}{r} \mathbf{k} \times \int_0^d dz' \int_{-d/2}^{d/2} dy' \int_{-a/2}^{a/2} dz'' \sigma(\omega) \mathbf{E}(k_x, y', z'', \omega) e^{-ik_x y' - ik_z z''},$$

где  $\mathbf{E}^0$  - поле равномерно и прямолинейно движущегося заряда в вакууме. Спектрально-угловая плотность энергии в направлении «назад», согласно [3] находится как:

$$\frac{d^2 W}{d\omega d\Omega} = cr^2 |\mathbf{E}^{pol(vac)}|^2 = \frac{cr^2}{|\varepsilon|^2} \left( |f_H|^2 |H_{\perp}^{pol}|^2 + |\sqrt{\varepsilon} f_E|^2 |H_{\square}^{pol}|^2 \right)$$

Здесь обозначено:

$$H_{\perp}^{pol} = H_x^{pol} \cos \phi - H_y^{pol} \sin \phi;$$

$$H_{\square}^{pol} = \sqrt{(H_z^{pol})^2 + (H_x^{pol} \sin \phi + H_y^{pol} \cos \phi)^2}$$

- составляющие магнитного поля, перпендикулярная и параллельная плоскости падения волны на границу раздела, а также:  $f_H, f_E$  - коэффициенты Френеля для одной бесконечной границы раздела. Для того чтобы найти интенсивность излучения в вакууме, необходимо выразить углы излучения в среде через углы в вакууме [4]:

$$\mathbf{e} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \left\{ \sin \theta \sin \phi, \sin \theta \cos \phi, -\sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta} \right\}.$$

Заметим, что полученные выражения не учитывают выход волн через торцы экрана. Это накладывает естественное ограничение на толщину мишени. При длине экрана  $a > \gamma \lambda$  его можно считать бесконечным, и тогда  $d \ll \gamma \lambda$ . В случае, когда  $a < \gamma \lambda$  играет роль геометрический размер экрана, поэтому  $d \ll a$ .

Рассмотрим некоторые особенности излучения от мишени, обладающей конечной диэлектрической проницаемостью. Для прозрачного вещества при малых углах падения  $\alpha$  и при выполнении условия Черенкова, интенсивность ДИ мала, и основной вклад вносит черенковское излучение.

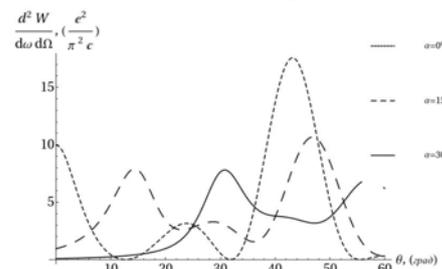


Рис.2. Спектрально-угловая плотность дифракционного излучения «вперед» для различных углов падения. Параметры:  $\varepsilon = 1.5 + 0i$ ,  $\gamma = 10$ ,  $\chi = 1\text{мм}$ ,

$$\lambda = 1\text{мм}, d = 1\text{см}, a = 5\gamma\lambda, \phi = 180^\circ.$$

При увеличении угла падения интенсивность ДИ начинает возрастать и максимум, приходящийся на черенковское излучение, начинает смещаться в область больших углов (см. Рис.2).

### Исследование ДИ в высокочастотном пределе

В высокочастотном пределе диэлектрическая проницаемость среды определяется следующим

образом [4]:  $\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ , где  $\omega \gg \omega_p$ . В случае, когда частица движется под углом  $\alpha = 0^\circ$  в приближении релятивистских энергий  $\gamma \gg 1$  и малых углов излучения  $\theta \ll 1$  после разложения по малым параметрам (выше второго) получим выражения для ДИ «вперед»:

$$\frac{d^2 W_{FDR}}{d\omega d\Omega} = \frac{F_{a_0}}{c} \left( \frac{e\omega_p^2}{\pi\omega^2} \right)^2 \cdot \exp \left[ -2h \frac{\omega}{\gamma v} \sqrt{1 + (\gamma\theta \sin \varphi)^2} \right] \cdot \frac{\sin^2 \left[ \frac{d}{4} \frac{\omega}{v} \left( \gamma^{-2} + \theta^2 + \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right) \right]}{\left( \gamma^{-2} + \theta^2 + \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right) (\gamma^{-2} + \theta^2)} \cdot \frac{1 + 2(\gamma\theta \sin \varphi)^2}{1 + (\gamma\theta \sin \varphi)^2} \quad (1)$$

здесь введено обозначение:

$$F_{a_0} = 1 - 2 \exp \left[ -a \frac{\omega}{\gamma v} \sqrt{1 + (\gamma\theta \sin \varphi)^2} \right] \cos \left( a \theta \cos \varphi \cdot \frac{\omega}{c} \right) + \exp \left[ -2a \frac{\omega}{\gamma v} \sqrt{1 + (\gamma\theta \sin \varphi)^2} \right].$$

Выражение (1) полностью совпадает с результатами, полученными ранее в работах [5, 6] для ДИ в направлении «вперёд» в высокочастотном пределе и ультрарелятивистском приближении.

Далее рассмотрим величину вклада, вносимого в интенсивность ДИ от волн, преломленных и отраженных от поверхности экрана. Для этого проведем сравнительный анализ спектров ДИ, определенных из выражения для ДИ «вперед», в котором данные эффекты учитываются путем введения коэффициентов Френеля, и результатов работы [6] в приближении прозрачной среды (Рис. 3).

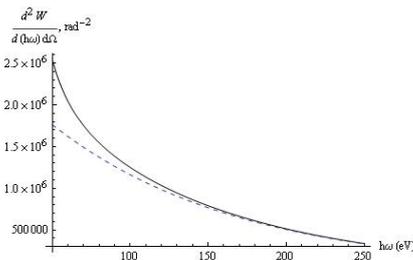


Рис. 3. Спектральные распределения ДИ «вперед» с учетом эффектов преломления и отражения волн от поверхности экрана (сплошная линия) и в приближении прозрачной среды (пунктирная линия). Параметры:  $\alpha = 0$ ,  $\gamma = 6 \cdot 10^4$ ,  $d = 10^{-2}$  мм,  $\chi = 5 \cdot 10^{-2}$  мм,  $a = 2$  мм,  $h\omega = 26,1$  эВ (Бериллий).

При частотах  $\omega < 7\omega_p$  интенсивность ДИ, определенная с учетом коэффициентов Френеля заметно возрастает по сравнению с интенсивностью, рассчитанной по методу [6]. В области более высоких частот, когда  $\omega > 7\omega_p$ , результаты совпадают и коэффициентами Френеля можно пренебречь.

Рассмотрим характеристики ДИ в случае скользящего пролета, когда угол  $\alpha$  удовлетворяет условию  $\cos \alpha \leq \sqrt{1 - \varepsilon\beta^2}$ , в зависимости от геометрических параметров экрана (Рис. 4, 5):

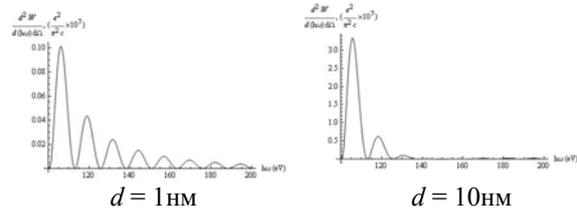


Рис. 4. Спектральные распределения ДИ «вперед» для различных значений толщины экрана  $d$ . Параметры:  $\gamma = 6 \cdot 10^4$ ,  $\chi = 5 \cdot 10^{-2}$  мм,  $a = 0,1$  мкм,  $h\omega = 80,2$  эВ (Вольфрам).

С увеличением длины и толщины экрана интенсивность излучения возрастает. Спектр излучения имеет сильно осциллирующий характер с малым шагом по частоте.

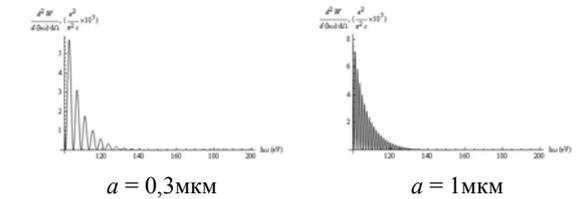


Рис. 5. Спектральные распределения ДИ «вперед» для различных значений длины экрана  $a$ . Параметры:  $\gamma = 6 \cdot 10^4$ ,  $d = 10$  нм,  $\chi = 5 \cdot 10^{-2}$  мм,  $h\omega = 80,2$  эВ (Вольфрам).

Интенсивность излучения экспоненциально спадает с увеличением частоты, что характерно для спектров ДИ в высокочастотном пределе.

#### Список литературы:

1. Б.М. Болотовский, Г.В. Воскресенский, Дифракционное излучение // УФН. – 1966. – Т. 88, № 2. – С. 209 – 251.
2. M. Castellano, Phase control effects in optical diffraction radiation from a slit // Nucl. Instr. and Meth. – 2010. – Vol. A 614. – P. 163-168.
3. Д.В. Карловец, К теории поляризационного излучения в средах с резкими границами // ЖЭТФ. – 2011. – Т. 140, № 1. – С. 36 – 55.
4. Л.Д. Ландау, Е.И. Лифшиц, Электродинамика сплошных сред. – Москва: Изд. Физматлит, 2005.
5. N.F. Shul'ga, V.V. Syshchenko, Transition radiation on semi-infinite plate and smith-purcell effect // J. Phys.: Conf. Ser. – 2010. – Vol. 236. – P. 012010(1 - 6)
6. A.A. Tishchenko, A.P. Potylitsyn, M.N. Strikhanov, Diffraction radiation from an ultrarelativistic charge in the plasma frequency limit // Phys. Rev. E. – 2004. – Vol. 70. – P. 066501(1 - 6).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

И.А. Курский, А.А. Пастухов

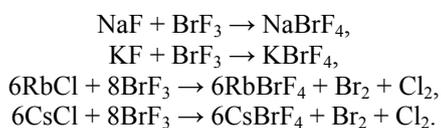
Научный руководитель – С. И. Ивлев, аспирант

Томский политехнический университет, 634050, пр. Ленина, 2

E-mail: [pastuhov.a.a@mail.ru](mailto:pastuhov.a.a@mail.ru)

Тетрафтороброматы щелочных металлов являются весьма перспективными фторокислителями в технологии редких, радиоактивных и благородных металлов, применяемых в атомной промышленности. Так, Шарп и Эмелеус ещё в 1948 году получили соединение  $\text{KBrF}_4$  [1], которое многими авторами рассматривалось как прекрасный высокотемпературный фторирующий агент [2]. Остальные металлы первой группы (кроме лития) также способны образовывать соединения состава  $\text{MeBrF}_4$  и проявлять сильные окислительные свойства при термическом разложении. Поэтому для принятия оптимального решения о возможности применения того или иного тетрафторобромата в технологии, одним из первостепенных вопросов является изучение их термической устойчивости.

В данной работе синтез  $\text{NaBrF}_4$ ,  $\text{KBrF}_4$ ,  $\text{RbBrF}_4$  и  $\text{CsBrF}_4$  проводился по методике, описанной в [3]. В качестве исходных веществ применялись фториды Na, K и хлориды Rb и Cs соответственно, предварительно прокаленные при 200 °С для удаления сорбированной влаги. По окончании реакции для достижения равновесия полученные тетрафтороброматы выдерживались под слоем фреона в течение суток. Реакции идут по следующим схемам:



Состав продуктов определялся с помощью рентгенофазового анализа и последующего сравнения полученных рентгенограмм со стандартами из Международного Центра Дифракционных Данных (ICDD). По результатам анализа было установлено, что полученные продукты состояли преимущественно из тетрафторобромата соответствующего металла и непрореагировавшего фторида. Следует отметить, что в случае рубидия и цезия в рентгенограммах продуктов пики  $\text{RbCl}$  и  $\text{CsCl}$  обнаружены не были.

Навески полученных тетрафтороброматов были подвергнуты термогравиметрическому анализу на дериватографе SDT Q600 в атмосфере аргона. Анализ проводился в интервале температур 20–700 °С в графитовых тиглях при скорости нагрева 10 °/мин. Результаты анализа для данных соединений представлены на рисунках 1–4.

При снятии дериватограммы  $\text{NaBrF}_4$  было установлено наличие двух тепловых эффектов (рис. 1). Также в результате визуального наблюдения было установлено, что разложение  $\text{NaBrF}_4$  завершается ещё до плавления вещества.

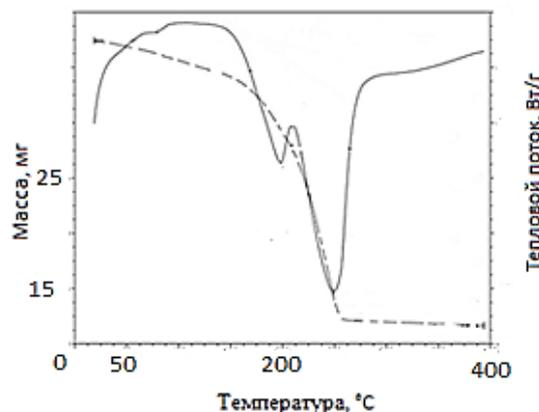


Рис. 1. Дериватограмма разложения  $\text{NaBrF}_4$   
— Кривая теплового потока  
- - - Кривая потери массы

Характер разложения тетрафторобромата калия подробно исследован в работе [3]. Здесь приведена дериватограмма  $\text{KBrF}_4$  для сопоставления её особенностей с особенностями дериватограмм остальных тетрафтороброматов (рис. 2). На ней выделяются следующие основные эффекты: 190 °С – разложение соединения  $\text{KF}\cdot\text{HF}$ ; 244 °С – полиморфное превращение тетрафторобромата калия; 317 °С – инконгруэнтное плавление  $\text{KBrF}_4$ ; 539 и 579 °С – тепловые эффекты, связанные с деструкцией фторуглеродов на поверхности графитовых тиглей.

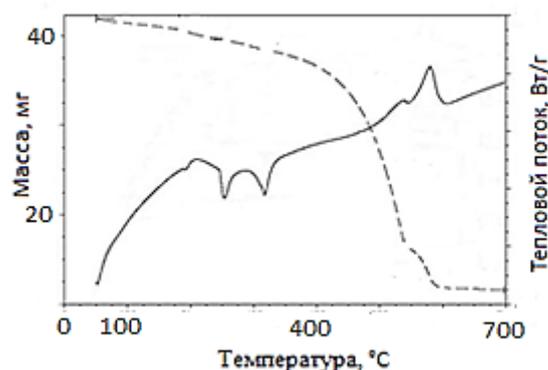


Рис. 2. Дериватограмма разложения  $\text{KBrF}_4$

При изучении процесса разложения тетрафторобромата рубидия было отмечено наличие участка с несколькими эффектами, трудно поддающимися расшифровке (рис. 3).

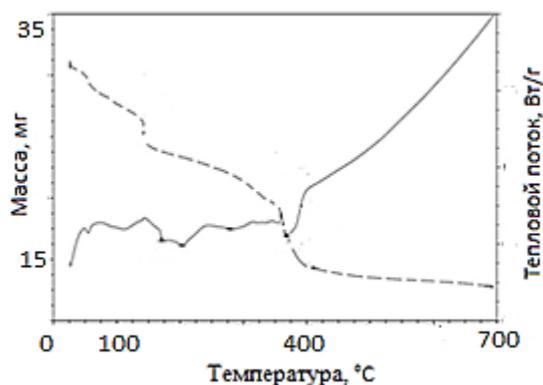


Рис. 3. Дериватограмма разложения  $\text{RbBrF}_4$

Тем не менее, можно выделить эндотермический эффект с максимумом при  $367^\circ\text{C}$ , соответствующий интенсивному разложению  $\text{RbBrF}_4$ . Небольшие эндотермические эффекты в интервале  $70\text{--}150^\circ\text{C}$  и соответствующий характер кривой потери массы говорят о наличии в системе  $\text{Br}_2$  и  $\text{BrF}_3$ . Группа эффектов в интервале  $170\text{--}300^\circ\text{C}$ , вероятно, принадлежит распаду продуктов низкотемпературного взаимодействия тигля с трифторидом брома. Также в этом интервале находится точка плавления  $\text{RbBrF}_4$ , что было установлено визуально.

Разложение тетрафторобромата цезия сопровождается типичными для этого класса тепловыми эффектами (рис. 4). В частности, в окрестности точки с температурой  $207^\circ\text{C}$  происходит его плавление (подтверждено визуально). При температуре выше  $406^\circ\text{C}$  начинается стадия быстрого разложения  $\text{CsBrF}_4$ , сопровождающаяся небольшим перегибом на DTA-кривой. Экзотермический эффект при  $598^\circ\text{C}$  связан с деструкцией фторуглеродной плёнки (по аналогии с процессом разложения  $\text{KBrF}_4$ ).

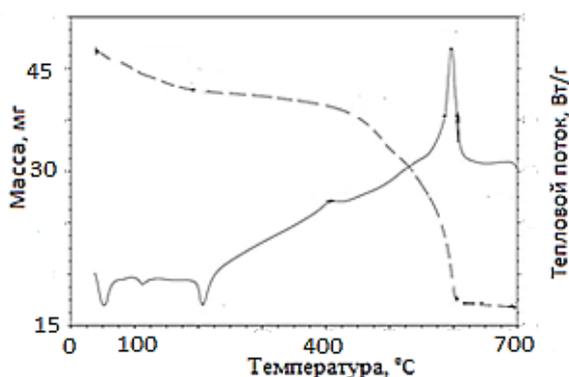


Рис. 4. Дериватограмма разложения  $\text{CsBrF}_4$

По наличию тепловых эффектов на кривых теплового потока и по визуальному контролю состояния навесок были определены температуры плавления тетрафтороброматов. Также из дериватограмм были определены температуры начала разложения навесок. Из полученных таким образом данных и при совокупном анализе дериватограмм были отмечены некоторые общие закономерности в изменении свойств тетрафтороброматов щелочных металлов внутри группы.

Так, от натрия к цезию возрастает термическая устойчивость тетрафтороброматов.  $\text{NaBrF}_4$  полностью разлагается при  $250^\circ\text{C}$ ,  $\text{KBrF}_4$  разлагается при инконгруэнтном плавлении,  $\text{RbBrF}_4$  начинает интенсивно разлагаться при  $363^\circ\text{C}$ , а  $\text{CsBrF}_4$  относительно устойчив до  $500^\circ\text{C}$ .

Кроме того, наблюдается обратная закономерность в температурах плавления: от натрия к цезию температура плавления тетрафтороброматов уменьшается. Наивысшая она у  $\text{KBrF}_4$   $317^\circ\text{C}$  (поскольку  $\text{NaBrF}_4$  разлагается до плавления), а наименьшая – у  $\text{CsBrF}_4$   $207^\circ\text{C}$ . Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные температурные характеристики тетрафтороброматов

	Температура, $^\circ\text{C}$			
	$\text{NaBrF}_4$	$\text{KBrF}_4$	$\text{RbBrF}_4$	$\text{CsBrF}_4$
Тпл.	Разлагается	317	$\sim 250$	207
Траз.	220	317	360	410

#### Список литературы:

1. Sharpe A. G., Emeleus H. J. Chemistry of the Inter-halogen compounds. Part I. The Reaction of Bromine Trifluoride with Metallic Halides // J. Chem. Soc. 1948. – p. 2135.
2. Митькин В. Н. Фторокислители в аналитической химии благородных металлов // ЖАХ. 2001. – Т. 56. – №2. – с. 118-142.
3. Шагалов В. В. Дисс. «Физико-химические основы синтеза тетрафторобромата калия» канд. хим. наук. Томск: ТПУ, 2010. 156 с.
4. Оствальд Р. В., Шагалов В. В. Комплексные соединения трифторида брома с фторидами щелочных металлов // Третий Международный сибирский семинар INTERSIBFLUORINE – г. Владивосток, 2008 г.

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗА 2006-2011ГГ. В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ Г. ТОМСКА

Лейсле Р.И., Федулов А.А.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., доцент, к.ф.-м.н.

Томский Политехнический Университет, Ленина,30, Томск, 634050, Россия

E-mail: [vifleem@sibmail.com](mailto:vifleem@sibmail.com)

Рост выбросов вредных веществ в атмосферу в результате процессов индустриализации и урбанизации ведет к увеличению содержания примесей на значительном расстоянии от источников загрязнения и к глобальным изменениям в составе атмосферы. Особый интерес представляет содержание тяжелых металлов и других токсичных элементов, наличие которых даже в малых количествах могут нанести ощутимый вред здоровью.

Существует множество инструментальных методов определения загрязнения атмосферы химическими элементами, однако большинство методов позволяют осуществлять локальные и краткосрочные наблюдения. Чтобы получить достоверную картину загрязнения, требуется наличие множества точек отбора воздуха и проведения многократных измерений. Кроме того, методы трудоёмки, а используемые методики к тому же имеют избирательный характер, т. е. позволяет определить только один компонент.

В настоящее время для определения содержания большого количества химических элементов и металлов в атмосфере активно развиваются биофизические методы наблюдения, которые позволяют контролировать состояние атмосферы на больших территориях за продолжительные промежутки времени. В качестве депонирующих загрязняющих объектов чаще всего используют мхи и лишайники, которые обладают хорошими аккумуляционными свойствами и произрастают на обширных территориях. Метод контроля с помощью мхов основан на сравнении концентраций элементов во мхах, отобранных на исследуемых территориях, с фоновыми значениями, полученными для мхов, отобранных на чистых территориях. Следует отметить что, в известных работах по изучению загрязнения атмосферы используют лесные почвенные мхи, обитающие только в больших лесных массивах. Поэтому данные виды мхов позволяют изучать загрязнение атмосферы достаточно больших регионов.[1][2]

На кафедре, совместно с кафедрой ботаники ТГУ, на протяжении ряда лет разрабатывается метод, основанный на использовании эпифитного мха *Пилезия многоцветковая*, который произрастает на коре деревьев, например, осин и тополей. Это позволяет производить отбор проб мха не только в лесных массивах, но и на урбанизированных территориях. [3]

**Цель исследования** – изучение динамики и пространственного распределения загрязнения атмосферы воздуха северной части г. Томска тяжелыми металлами и другими химическими эле-

ментами с помощью эпифитного мха *Пилезия многоцветковая* за последние 4-5 лет.



Рис 1. Карта отбора проб мха в г. Томске

Мох отбирали в северной части города Томска (севернее проспекта Фрунзе). Выбор территории обусловлен тем, что аналогичное исследование для этой территории было проведено 3 года назад. Сравнение результатов позволит оценить тенденции в динамике химического загрязнения атмосферного воздуха данной части города Томска.

Содержание химических элементов во мхах определяют с помощью нейтронно-активационного анализа (НАА) на тепловых нейтронах. Этот метод основан на активации исследуемых образцов в потоке нейтронов и последующем измерении спектра вторичного  $\gamma$ -излучения НАА.

Качество получаемых результатов при проведении НАА различных объектов окружающей среды в большой мере определяется точным соблюдением методики пробоподготовки.

Отобранные пробы очищали от земли и различных примесей, затем производили промывку дистиллированной водой. Далее пробы высушивали, измельчали и прессовали в таблетки массой 0,4-0,6 г диаметром 1 см.

В вертикальном экспериментальном канале реактора пробы облучались в потоке тепловых нейтронов плотностью  $5,5 \cdot 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup> \* с в течение пяти часов. Облученные пробы и образец сравнения (эталон) облучали одновременно. В качестве образцов сравнения (эталонов) использованы стандарты МАГАТЭ – Лист березы и ТАБАК.

Облученные пробы выдерживали в течение нескольких дней для спада активностей короткоживущих изотопов и наведенной активности материала пенала (алюминий) и упаковочной фольги.

Измерение удельных активностей химических элементов в пробах проводили с помощью гамма-спектрометра на основе полупроводникового детектора, время измерения составляло 300-900 сек. Расчет концентрации производили по формуле:

$$C_{x_i} = \frac{S_{x_i} \cdot m_{x_{эм}}}{S_{x_{эм}} \cdot M_i} \left[ \frac{МКг}{г} \right]$$

где  $S_{xi}$  – площадь под пиком полного поглощения определяемого элемента  $x$  в  $i$ -м образце;  $S_{xэм}$  – площадь под пиком полного поглощения данного элемента в образце сравнения;  $M_i$  – масса  $i$ -той пробы;  $m_{xэм}$  – содержание  $x$ -го элемента в образце сравнения.

В ходе проведения исследований было подготовлено и проанализировано 32 пробы мха, отобранных на территории северной части города Томска, и 2 фоновые пробы, отобранные на большом расстоянии от промышленных центров. В каждой пробе определено содержание 26 химических элементов по долгоживущим изотопам: Sm, Ce, Ca, Lu, U, Hg, Tb, Th, Cr, Yb, Hf, Ba, Sr, Nd, Br, Cs, Rb, Fe, Zn, Sc, Ta, Co, Na, Eu, K, La, Sb. Погрешность составила 10-15 %.

### Результаты и анализ.

Анализируя полученные результаты можно сказать следующее

1. Средние и максимальные концентрации большинства химических элементов имеют значения, в несколько раз и более превышающие фон. Исключением являются Ba, Sr, Sb, концентрации которых сопоставимы с фоновыми значениями.

2. Изучение динамики загрязнения атмосферного воздуха за 2006-2011 годы, показывает что: а) наблюдается увеличение концентраций Ca, Th, Tb, Yb, Hf, Fe, Nd, Br, Cr, La в 2 и более раза по сравнению с концентрациями, измеренными в 2008 году (Рис.2); б) концентрации Lu, U, Zn, Eu, остались на уровне 2008 года; в) снижение концентраций в 1,5-2 раза обнаружено у Cs, Na, Co, Ta.

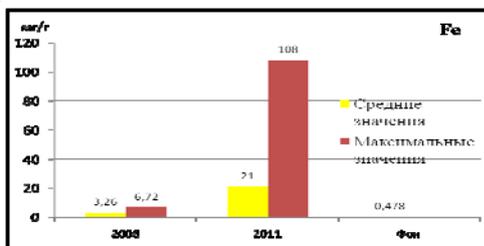


Рис 2. Концентрация Fe во мхах

На основе полученных данных по содержанию химических элементов во мхах с помощью ГИС (Arcview, с пространственным распределением концентраций) построены пространственные распределения концентраций химических элементов.

3. Анализ карт с пространственным распределением показывает:

- по многим элементам положение зон с максимальными значениями концентрации не изменилось по сравнению с 2008 годом. Эти зоны расположены около Ж/Д станции ТОМСК-2, на территории вблизи ГРЭС-2 и производственных площадей ТДСК, так же в районе Иркутского тракта.

- Появились новые зоны с повышенной концентрацией элементов: район бетонного завода,

который после продолжительной реконструкции заработал около 4 лет назад (Рис. 3), а также пересечение улиц Сибирской и Комсомольского проспекта, что объясняется увеличением потока автотранспорта на этих автомагистралях за последние 2-3 года (Рис. 4).

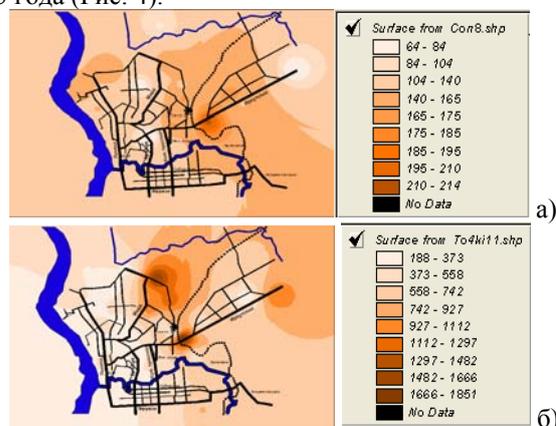


Рис. 3 а) Пространственное распределение концентрации Ca во мхах: а) 2008 г; б) 2011 г.

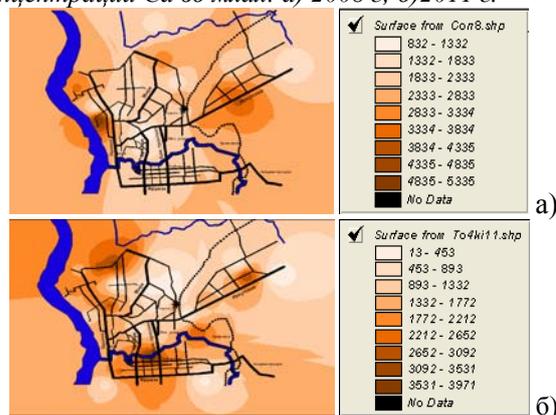


Рис. 4 а) Пространственное распределение концентрации Na во мхах: а) 2008 г; б) 2011 г.

### Список литературы:

1. Frontasyeva M. F., Steinnes E., Lyapunov S. M., Cherchintsev V. D., Smirnov L. I. Bio-monitoring of heavy metal deposition in the South Ural region: some preliminary results obtained by nuclear and related techniques. J. Radioanal. Nucl. Chem., v. 245, No. 2, (2000), 415-420.
2. Berg T., Steinnes E. Use of moss (*Hylocomium Splendens* and *Pleurozium Schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute values. Environment Pollution, Vol. 98, No1, (1997, 61-71)
3. Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г., Рогова Н.С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов. // Оптика атмосферы и океана, 2009 – т. 22, - №1. с. 101-104.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. И. Лизунов, И. В. Волошин

Научный руководитель: Ивлев С.И., аспирант

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [artliz481@gmail.com](mailto:artliz481@gmail.com)

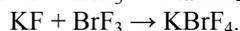
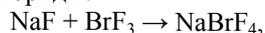
В технологии редких элементов и материалов, применяющихся в атомной промышленности, важное место занимают процессы получения фтористых соединений элементов для последующего разложения с целью получения их в металлическом виде. Многие из фторирующих агентов, например, трифторид брома  $\text{BrF}_3$ , нашли широкое применение в урановой промышленности, где они с успехом применяются для окислительного фторирования как урана, так и сопутствующих ему редкоземельных элементов. Тем не менее, высокая реакционная способность применяющихся в настоящее время фторокислителей сильно осложняет их использование в промышленности, а также создаёт определённые сложности при их хранении и транспортировке.

В настоящее время перспективной альтернативой применению традиционных фторокислителей является применение тетрафтороброматов щелочных металлов, так же способных одновременно окислять весь ряд радиоактивных и редкоземельных элементов. Они представляют собой твёрдые вещества обладающие меньшей реакционной способностью при нормальных, чем исходные фториды галогенов, но проявляющие сильные окислительные свойства при плавлении [1].

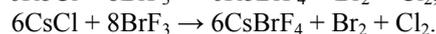
В данной работе проведено исследование термодинамических свойств тетрафтороброматов щелочных металлов (натрия, калия, рубидия и цезия) с целью установления общих закономерностей изменения этих свойств внутри группы.

Синтез тетрафтороброматов щелочных металлов проводился по наиболее простому и изученному методу, заключающемуся во взаимодействии жидкого трифторида брома с галогенидами металлов [2].

В качестве исходных веществ выступали соответствующие фториды:



В случае рубидия и цезия синтез проводился с использованием хлоридов вследствие гигроскопичности фторидов соответствующих металлов:



Поиск литературных данных о термодинамических характеристиках  $\text{NaBrF}_4$ ,  $\text{RbBrF}_4$  и  $\text{CsBrF}_4$  не дал никаких результатов. Для оценки этих величин в настоящей работе использовались расчетные методики, хорошо себя зарекомендовавшие при исследовании тетрафторобромата калия [3].

Для расчёта энтальпии образования процесс синтеза тетрафтороброматов щелочных металлов был представлен в виде сорбции  $\text{BrF}_3$  на  $\text{MeF}$ . Зна-

чение теплоты реакции было принято за промежуточное между хемосорбцией и физической сорбцией (40 кДж/моль):

$$\Delta H_{f,298}^\circ(\text{MeBrF}_4) = \Delta H_{f,298}^\circ(\text{MeF}) + \Delta H_{f,298}^\circ(\text{BrF}_3) - 40.$$

Расчет энтропии проводился по методу Герца для элементов и неорганических соединений [4]:

$$S_{298}^\circ = K_r \cdot (M/C_{p,298})^{1/3} \cdot m.$$

Расчет теплоемкости рассматриваемых соединений проводился по методу Ивановой [4]:

$$C_p = m \cdot (22,13 + 8,32 \cdot T/T_{\text{ф.п.}}).$$

Данный метод расчета оказался не применим в случае  $\text{NaBrF}_4$ , поскольку это соединение полностью разлагается ещё до достижения точек фазовых переходов. Для расчета его теплоемкости использовался метод Неймана-Коппа [4]:

$$C_p(\text{NaBrF}_4) = C_p(\text{Na}) + C_p(\text{Br}) + 4C_p(\text{F})$$

Полученные данные расчетов термодинамических функций тетрафтороброматов представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Сводная таблица термодинамических функций тетрафтороброматов щелочных металлов.

Вещество	Термодинамические функции		
	$\Delta H$ , кДж/моль	$S$ , Дж/(моль·К)	$C_p$ , Дж/(моль·К)
$\text{NaBrF}_4$	-915,9	148	140
$\text{KBrF}_4$	-909,9	145	161
$\text{RbBrF}_4$	-898,9	156	161
$\text{CsBrF}_4$	-896,6	165	163

По значениям энергии Гиббса, рассчитанным по уравнению Улиха [4]

$$\Delta G^\circ(T) = \Delta H_{298}^\circ - T \cdot \Delta S_{298}^\circ - C_{p,298} \cdot T \cdot f(T).$$

Исходя из полученных значений энтальпии, энтропии и теплоёмкости тетрафтороброматов, построены графические зависимости изменения энергии Гиббса и логарифма константы равновесия в интервале температур 298–378 К.

Таким образом, выбранные реакции синтеза тетрафтороброматов термодинамически разрешены во всей области существования жидкого трифторида, причём исходя из больших значений  $K_p$ , равновесие сильно сминуто в сторону образования продуктов.

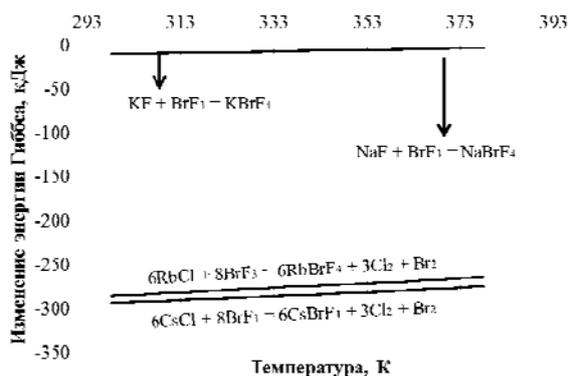


Рис. 1. Зависимость изменения энергии Гиббса от температуры.

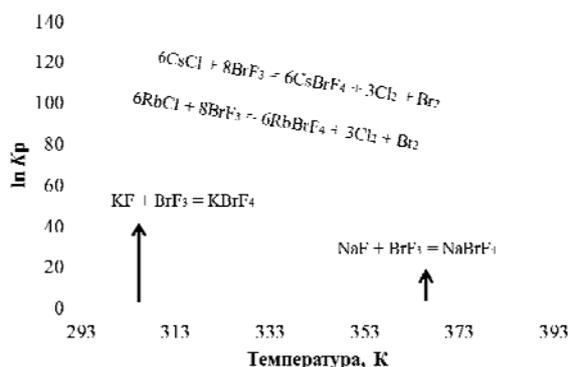


Рис. 2. Зависимость логарифма константы равновесия от температуры.

Для уточнения расчетных данных определение энтальпии образования  $\text{RbBrF}_4$  и  $\text{CsBrF}_4$  проводилось калориметрическим методом. Для этого в реакционную зону термостатированного тефлонового реактора погружалась предварительно откалиброванная термопара. При добавлении  $\text{MeCl}$  к  $\text{BrF}_3$  снималась зависимость температуры от времени. По разности температур до и по окончании реакции на полученных кривых определялся тепловой эффект.

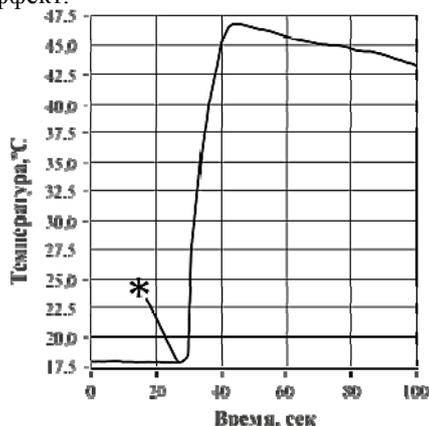


Рис. 3. Зависимость температуры от времени при получении  $\text{RbBrF}_4$ .

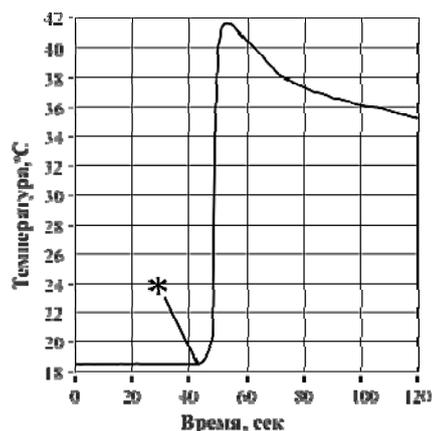


Рис. 4. Зависимость температуры от времени при получении  $\text{CsBrF}_4$ .

Из проведенных измерений были определены тепловые эффекты реакций синтеза  $\text{RbBrF}_4$  и  $\text{CsBrF}_4$ , которые составили:

$$Q(\text{RbBrF}_4) = -90,8 \text{ кДж/моль RbCl},$$

$$Q(\text{CsBrF}_4) = -127,3 \text{ кДж/моль CsCl}.$$

Энтальпии образования данных тетрафтороброматов определялись из соотношения

$$Q = \sum \Delta H_{\text{продуктов}} - \sum \Delta H_{\text{исх.в-в}}$$

и составили:

$$\Delta H(\text{RbBrF}_4) = -930,1 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta H(\text{CsBrF}_4) = -973,9 \text{ кДж/моль}.$$

В таблицу 2 сведены полученные данные и для сравнения энтальпии образования  $\text{NaBrF}_4$  и  $\text{KBrF}_4$ , имеющиеся в литературе.

Таблица 2. Энтальпии образования тетрафтороброматов щелочных металлов.

Энтальпия образования, кДж/моль			
$\text{NaBrF}_4$	$\text{KBrF}_4$	$\text{RbBrF}_4$	$\text{CsBrF}_4$
-765,0	-967,5	-930,1	-973,9

Исходя из однотипной структуры соединений, в ряду тетрафтороброматов щелочных металлов просматривается закономерность последовательного увеличения значений энтальпий от Na к Cs, но значение с K выпадает из общего ряда, что говорит о необходимости проведения ряда дополнительных измерений тепловых эффектов в одинаковых условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. V.N. Mitkin / Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 56 (2001) 135-175.
2. Sharpe A.G., Emeleus H.J. J. Chem. Soc., 1948, p. 2135.
3. Шагалов В. В. Дисс. «Физико-химические основы синтеза тетрафторобромата калия» канд. хим. наук. Томск: ТПУ, 2010. 156 с.
4. Термодинамические расчеты в металлургии: Справ. изд./ Морачевский А.Г., Сладков И.Б. – М.: Металлургия, 1993

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОАПЕРТУРНОЙ СИСТЕМЫ УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА В ИМПУЛЬСНОМ ФОРВАКУУМНОМ ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ

Юшков Ю.Г., Медовник А.В., Мальшкин А.А.

Научный руководитель: Окс Е.М., д.т.н., профессор

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: [YuYushkov@sibmail.com](mailto:YuYushkov@sibmail.com)

Представлены результаты моделирования многоапертурной системы ускоряющего промежутка для импульсного источника электронов, функционирующего в форвакуумной области давлений (5-20 Па.). Подобраны оптимальные размеры между электродами, размеры и геометрия расположения отверстий в многоапертурной системе. Расчеты производились в программе КОБРА3.

### 1. Введение

Как правило, в источниках электронов с плазменным катодом используется плоскопараллельный ускоряющий промежуток [1], который представляет собой систему натянутых сеток. При этом эффективность прохождения пучка (отношение тока пучка к току эмиссии) определяется, прежде всего, прозрачностью экстракторной сетки. В импульсном форвакуумном источнике электронов [2], прозрачность сетки составляет 70%, таким образом, при прохождении пучка через экстракторную сетку теряется порядка 30% тока.

Возможным способом повышения эффективности прохождения могло бы стать использование системы с соосными отверстиями в эмиссионном и ускоряющем электродах. В связи с этим целью данной работы является моделирование многоапертурной системы для плазменного импульсного источника электронов функционирующего в форвакуумном диапазоне давлений.

### 2. Экспериментальная установка

Электродная схема ускоряющего промежутка импульсного источника электронов представлена на (рис.1).

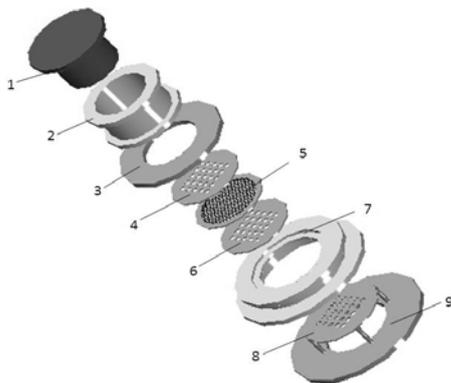


Рисунок 1. Импульсный источник электронов.  
1-полый катод, 2-изолятор, 3- анодный фланец, 4,6-перфорированный электрод, 5- сетка, 7- изолятор, 8- экстрактор, 9- камера.

Параметры источника: ток разряда – до 1кВ, ток разряда – до 200 А, Ускоряющее напряжение – до 20 кВ, ток пучка до 120 А, длительность им-

пульса 20 мкс. – 1мс., давление рабочего газа 5 – 20 Па.

### 3. Результаты моделирования и их обсуждение.

Моделирование ускоряющей системы производилось в приближении одного отверстия, что позволяет существенно облегчить расчеты. Первая задача моделирования заключалась в определении оптимальных геометрических параметров, к которым относились: диаметры отверстий в анодном, экстракторном электродах и расстояние между ними (Рис.2.).

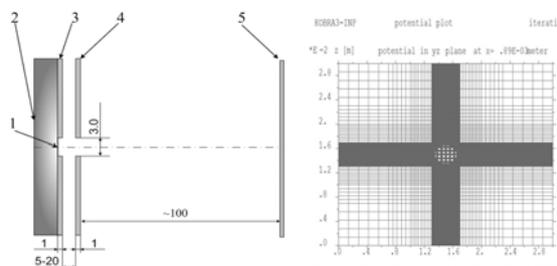
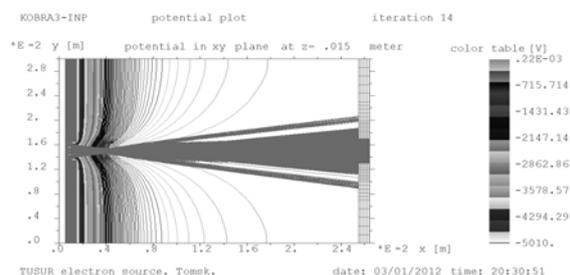
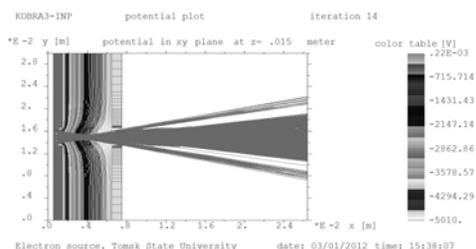


Рисунок 2 – Схема расчётной области. Распределение узлов сетки.

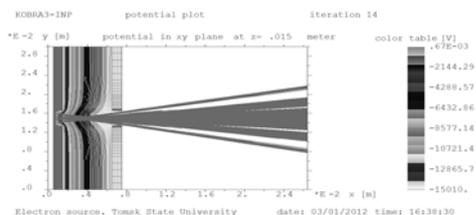
Результаты расчетов показали, что с точки зрения прохождения пучка через экстрактор оптимальным (минимальные потери тока) является наименьшее расстояние между электродами (Рис.3а, 3б), при этом значение ускоряющего напряжения не оказывают существенного влияния на токопрохождение (Рис.3б, 3в).



а



б

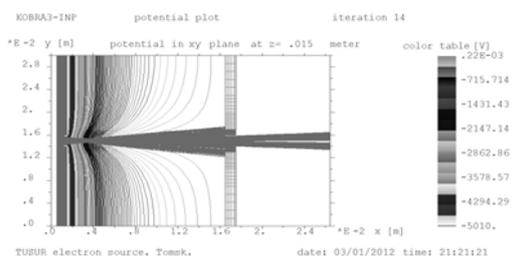


б

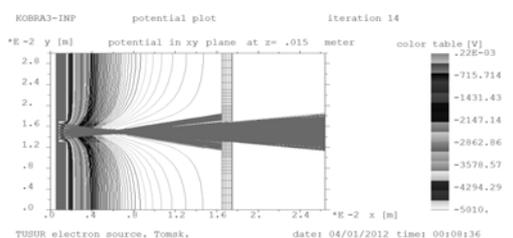
Рисунок 3 - Распределение потенциала и траекторий для параметров:

- а)  $L=25\text{мм}$ ,  $U_{\text{уск}} = 5\text{ кВ}$ ,
- б)  $L=5\text{мм}$ ,  $U_{\text{уск}} = 5\text{ кВ}$ ,
- в)  $L=5\text{мм}$ ,  $U_{\text{уск}} = 15\text{ кВ}$ .

Изменение диаметра отверстий приводит к изменению эквипотенциальной картины поля в ускоряющем промежутке и, следовательно, изменению фокусного расстояния, при этом увеличение диаметра отверстия приводит к сдвигу фокуса в сторону экстрактора (Рис 4), что положительно сказывается на токопрохождении.



а



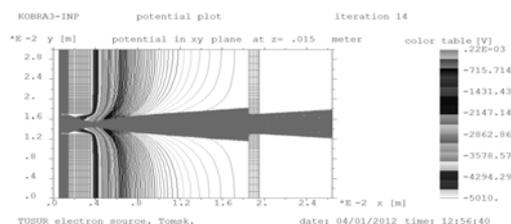
б

Рисунок 4 - Распределение потенциала и траекторий для параметров: 5 кВ, отверстие 2 мм (а), отверстие 4 мм. (б).

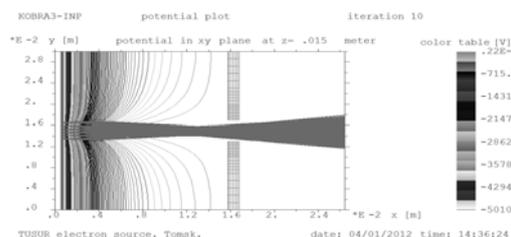
Однако при этом, расходимость пучка в пространстве дрейфа увеличивается, что неприемлемо для ряда технологических применений. В связи с этим диаметр отверстия был выбран равным 3 мм, что с одной стороны позволяет не допустить

больших потерь на экстракторе, а с другой стороны обеспечивает малую расходимость пучка в пространстве дрейфа.

Как показали расчеты, на поведение пучка также влияет толщина эмиссионного электрода. При ее изменении меняется картина распределения потенциала вблизи эмиссионного электрода. Для увеличения токопрохождения следует использовать минимальную толщину эмиссионного электрода (Рис.5).



а



б

Рисунок 5 - Распределение потенциала и траекторий для параметров: 5 кВ, толщина электрода 5мм (а), толщина электрода 2мм (б).

### Заключение

Результаты моделирования показали что, с точки зрения максимального токопрохождения оптимальны следующие параметры: расстояние анод-экстрактор 5 мм, диаметр отверстий в экстракторном и анодном электродах 3 мм. При этом ускоряющее напряжение (в пределах рабочего диапазона) не оказывает существенного влияния на токопрохождение. Важным параметром является толщина эмиссионного электрода.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 10-08-00257-а и гранта Рособразования № 7.3101.2011.

### Список литературы:

1. V. A. Burdovitsin, A. S. Klimov, A. V. Medovnik, E. M. Oks. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump pressure plasma-cathode electron beam source. Plasma Sources Sci. Technol. 19 (2010) 055003.
2. Ю.Г. Юшков, В.А. Бурдовицин А.В. Медовник, Е.М. Окс. Форвакуумный плазменный источник импульсных электронных пучков. ПТЭ, 2011, №2, с. 85-88.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Мартемьянов С.М., Маслов А.Л., Аверьянов С.В.

Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

В связи с истощением активно разрабатываемых в настоящее время запасов нефти и газа, необходимо всё большее внимание уделять развитию новых методов получения энергоносителей. В этом плане перспективно выглядит освоение месторождений горючих сланцев, запасы которых очень велики по сравнению с запасами нефти и природного газа. Однако как энергетическое сырье горючие сланцы практически не используются из-за нерентабельности существующих технологий из добычи. Решением этой проблемы может стать подземная газификация. Этот принцип предполагает преобразование твердого топлива в газообразную или жидкую фазу непосредственно на месте залегания. Такая технология может оказаться значительно дешевле разработки месторождения шахтным способом.

Основная задача различных технологий подземной газификации твердых топлив – это нагрев пласта. Для этого может использоваться сжигание части породы при подаче окислителя через скважину [1]. Однако для топлив с высокой зольностью, таких как горючие сланцы, такой подход неприменим.

Нагревать подземный пласт можно с помощью электромагнитного поля. Однако поскольку твердые топлива являются диэлектриками, невозможно использовать для этой цели только джоулевы потери электрического тока. Начальный нагрев сланцев можно осуществлять диэлектрическими потерями, которые по мере нагрева пласта будут дополняться джоулевыми за счет увеличения электропроводности  $\sigma$  при росте температуры. Таким образом, нагрев подземного пласта будет происходить между двумя электродами (рис.1), размещенными в скважинах и соединенных с расположенным на поверхности земли высокочастотным генератором  $U$ . Мощность, выделяемая в нагреваемой части сланцев  $P$ , определяется в этом случае в виде двух слагаемых:

$$P(T, f) = kU^2 f \varepsilon_0 \varepsilon(T, f) \operatorname{tg} \delta(T, f) + \sigma(T, f) E_{av}^2(T, f).$$

Здесь  $E_{av} = U/S$  – средняя напряженность электрического поля между электродами на расстоянии  $S$ ,  $f$  – частота,  $k$  – геометрический коэффициент,  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь. Первое слагаемое представляет собой мощность диэлектрических потерь, выделяемую на элементе  $r$  эквивалентной схемы (рис.1), а второе – мощность резистивных потерь, выделяемую на межэлектродном сопротивлении.

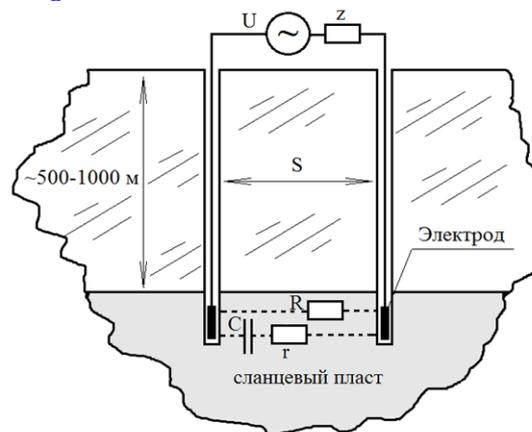


Рис.1 Схема метода подземной газификации

Для стартового нагрева необходимо использовать высокочастотный нагрев в области частот 10-100кГц, где большинство гетерогенных материалов имеют максимальные диэлектрические потери. По мере роста температуры будет возрастать электропроводность, то есть всё большую роль начнут играть потери проводимости.

Мощность тепловой энергии, выделяемой в межэлектродном пространстве пласта, распределяется в соответствии с формулой:

$$P(t) = C(T) \gamma \frac{\partial T}{\partial t} - \alpha(T)(T_g - T_0).$$

Здесь  $\gamma$  – плотность сланцев,  $C$  – удельная теплоемкость сланцев,  $\alpha$  – коэффициент теплоотвода,  $T_0$  – начальная температура пласта. Первое слагаемое показывает энергию, расходуемую на нагрев межэлектродного пространства пласта до температуры пиролиза  $T_g$ . Второе слагаемое отражает изменение температуры за счет теплоотвода теплопроводностью.

Зона образования горючих газов обычно приходится на интервал температур от 400 до 650°C [2]. Учитывая повышенное давление внутри залегающего пласта сланцев на глубине ~500м, следует ожидать снижения температуры их разложения  $T_g$  на ~(100÷150)°C. То есть ожидаемая температура разложения сланцев должна составить  $T_g \sim 400^\circ\text{C}$ .

В связи с невозможностью априорного предсказания ни условий эффективного выделения энергии, ни условий потерь энергии за счет теплоотвода, необходимо провести ряд работ исследовательского характера. При этом работу целесообразно построить в соответствии со следующими этапами:

- измерение диэлектрических и тепловых свойств сланцев;

- численное математическое моделирование распределения температуры при нагреве;
- экспериментальное моделирование подземного нагрева в лабораторных условиях.

Проведение предварительных расчетов и численного моделирования невозможно без знания диэлектрических и тепловых свойств горючих сланцев. Проблема усугубляется тем, что свойства породы зависят от температуры и будут изменяться при нагревании. Диэлектрические свойства также зависят от частоты воздействующего напряжения. В связи с этим были исследованы свойства образцов Цзылинского месторождения (КНР). В [3] описана методика и результаты измерения следующих свойств горючих сланцев:

- $\operatorname{tg}\delta = f(\omega, T)$  – тангенс угла диэлектрических потерь;
- $\varepsilon = f(\omega, T)$  – относительная диэлектрическая проницаемость;
- $\rho = f(T)$  – удельное электрическое сопротивление;
- $C = f(T)$  – удельная теплоемкость;
- $\lambda = f(T)$  – коэффициент теплопроводности.

Полученные данные позволяют на основе математической модели рассчитать тепловое поле подземного пласта при нагревании его описанным способом.

Модель, включающая в себя уравнения теплопроводности и химического превращения, была построена в двумерном приближении, что обоснованно тем, что теплопроводность вдоль слоев намного превышает теплопроводность в поперечном направлении.

Теплофизические и электрические свойства в плоскости считались постоянными.

Уравнения были записаны в безразмерном виде, и содержали ряд безразмерных параметров.

Численная реализация осуществлялась с использованием неявной схемы расщепления и метода покоординатной прогонки. Пример расчета приведен ниже.

Зависимость степени превращения  $\eta$  и безразмерной температуры  $\theta$  от времени в точке с безразмерными координатами  $(1,0)$  (область вблизи одного из электродов) для различных значений параметра  $\xi$ , равного отношению радиуса электродов к расстоянию между ними, показана на рис. 2 и 3 соответственно. Перегиб в температурных кривых вызван поглощением тепла в процессе превращения. Видно, что варьирование параметра  $\xi$  позволяет осуществлять реакцию с различной скоростью. Безразмерное время  $\tau$  соответствует обычному времени  $t$  примерно как  $t = 1400\tau$  с, а безразмерная температура обычной, в градусах

Кельвина, как  $T = 392\theta + 700$  (ее высокие значения на графике связаны с тем, что приведены величины из области непосредственно у электрода).

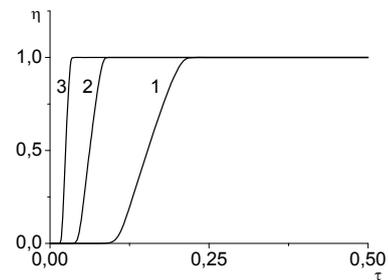


Рис. 2. Влияние  $\xi$  на степень превращения в точке с координатами  $(0,1)$ . 1:  $\xi = 25$ ; 2:  $\xi = 50$ ; 3:  $\xi = 100$ .

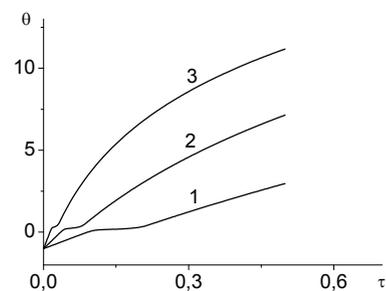


Рис. 3. Влияние  $\xi$  на температуру в точке с координатами  $(0,1)$ . 1:  $\xi = 25$ ; 2:  $\xi = 50$ ; 3:  $\xi = 100$ .

Таким образом, моделирование показывает, что нагрев пространства пласта вблизи электродов до температур выше  $600^\circ\text{C}$  возможен за десятки минут.

Описанный способ нагрева подземных пластов может оказаться пригодным для подземной газификации твердых горючих ископаемых, в частности, горючих сланцев. Вопросы его технической реализуемости, и, далее, экономической эффективности будут исследованы в дальнейшей работе.

#### Литература:

1. Патент РФ № 2385412, МПК E21B43/295, опубл. 27.03.2010
2. Федосеев С.Д., Чернышев А. Б. Полукоксование и газификация твердого топлива. – М.: 1960. – 326с.
3. Martemyanov S.M. Investigation of dielectric properties of shale // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies, 2011 - Volume 5, Part 3 - S.93-101.

## РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА

Мискун И.А., Луценко Ю.Ю., Зеленецкая Е.П.

Научный руководитель: Луценко Ю.Ю.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E – mail: [gepardxl@mail.ru](mailto:gepardxl@mail.ru)

Горение высокочастотного разряда емкостного типа поддерживается за счёт диссипации энергии электромагнитной волны, распространяющейся в плазме разряда. Поэтому для описания физических особенностей разряда необходимо определить его электродинамические характеристики. Решение электродинамической задачи непосредственно связано с пространственным распределением удельной электропроводности плазмы разряда. Электропроводность плазмы емкостного разряда, слабо меняется в осевом направлении. В то же время, градиент температуры и электропроводности в радиальном направлении достигает значительных величин, и его необходимо учитывать при решении задачи о распространении электромагнитной волны вдоль канала разряда.

В настоящей работе рассмотрено решение электродинамической задачи для емкостного разряда, с учётом его радиальной неоднородности

Уравнения Максвелла для поперечно-магнитных волн с учётом аксиальной симметрии задачи будут иметь [1] вид:

$$\frac{\partial H_\varphi}{\partial z} + j\omega\epsilon E_r = 0$$

$$\frac{1}{r} H_\varphi + \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} - j\omega\epsilon E_z = 0$$

$$\frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} + j\omega\mu H_\varphi = 0$$

Здесь:  $E_r$  и  $E_z$  – комплексные амплитуды соответственно радиальной и осевой компонент напряженности электрического поля;  $H_\varphi$  – комплексная амплитуда аксиальной компоненты напряженности магнитного поля;  $r$  – радиальная координата;  $z$  – осевая координата;  $\epsilon$ ,  $\mu$  – диэлектрическая и магнитные проницаемости.

Преобразуем вышеприведённую систему уравнений, полагая постоянство комплексной диэлектрической проницаемости в осевом направлении.

Получим:

$$\frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} \left[ \frac{1}{r} - \beta(r) \right] + H_\varphi \left[ \epsilon\mu\omega^2 - \frac{1}{r} \left( \frac{1}{r} + \beta(r) \right) \right] = 0$$

$$E_z = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left[ \frac{1}{r} H_\varphi + \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} \right]$$

$$E_r = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{\partial H_\varphi}{\partial z}$$

$$\text{Здесь } \beta(r) = \frac{d\epsilon/dr}{\epsilon(r)}$$

Разделяя независимые переменные  $r$  и  $z$  в уравнении (2.32) приведем его к уравнению в полных производных:

$$y'' + y' \left[ \frac{1}{r} - \beta(r) \right] + y \left[ k^2 - h^2 - \frac{1}{r} \left( \frac{1}{r} + \beta(r) \right) \right] = 0 \quad (1)$$

где  $k^2 = \epsilon_0\mu\omega^2 - j\sigma\mu\omega$ ;  $H_\varphi = y(r)e^{-jhz}$ ;  $\epsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость;  $h$  – постоянная разделения (волновое число).

Величинами  $k$  и  $h$  при малых  $g$  можно пренебречь в случае емкостного разряда, поэтому уравнение (1) можно записать в виде:

$$y'' + y' \left[ \frac{1}{r} - \beta(r) \right] + y \left[ -\frac{1}{r^2} - \frac{\beta(r)}{r} \right] = 0 \quad (2)$$

Первый интеграл уравнения (2) будет иметь вид:

$$\frac{dy}{dr} + \frac{1}{r} y = A\sigma(r) \quad (3)$$

Для решения уравнения (3) необходимо знать радиальное распределение удельной электропроводности плазмы разряда. Удельная электропроводность плазмы разряда может быть определена расчётным путём на основе известных значений газовой температуры. Радиальный профиль газовой температуры емкостного разряда, горящего в воздухе при атмосферном давлении, и имеющего мощность 4,5 кВт, приведён в работе [2]. Профиль температуры, и соответствующий ему профиль удельной электропроводности представлен на рис.1. Расчёт удельной электропроводности проводился с учётом предположения о существовании локального термодинамического равновесия в плазме разряда.

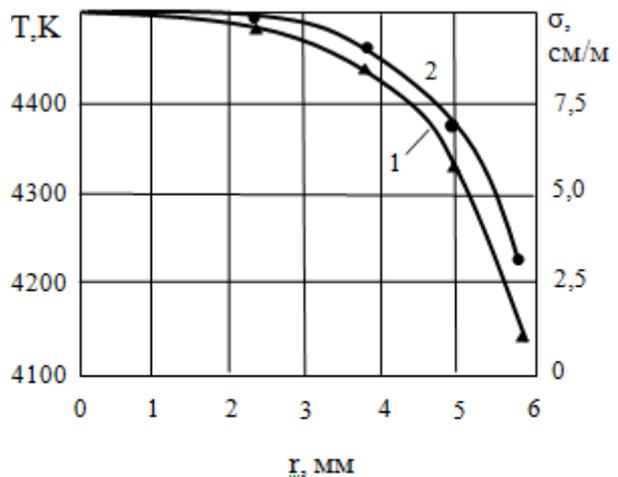


Рис.1. Радиальное распределение температуры (кривая 1) и удельной электропроводности (кривая 2) высокочастотного емкостного разряда в воздухе

В этом случае зависимость удельной электропроводности воздушной плазмы разряда от газовой

температуры может быть задана [3] следующей формулой:

$$\sigma = 53370T^{0.5} \exp\left(-\frac{57000}{T}\right)$$

Рассчитанный радиальный профиль удельной электропроводности плазмы разряда можно с хорошей точностью аппроксимировать полиномом второго порядка:

$$\sigma(r) = -5,2 \cdot 10^5 \cdot r^2 + 1,4 \cdot 10^3 \cdot r + 11$$

Подставим формулу для радиального профиля удельной электропроводности в уравнение (3). Уравнение (3) представляет собой неоднородное уравнение Бернулли. Его решение будет иметь следующий вид:

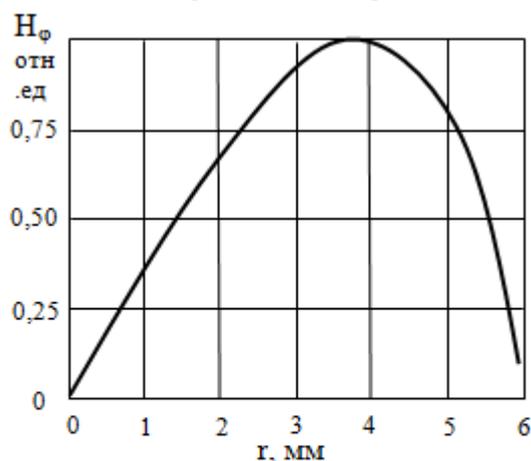
$$y(r) = -\frac{A}{2}(5,2 \cdot 10^5 \cdot r^2 - 1,4 \cdot 10^3 \cdot r - 11) \cdot r + \frac{C}{r}$$

Здесь А и С – произвольные константы.

Линейно независимое решение вида:  $y = C/r$  принимает бесконечное значение в точке  $r = 0$ , и поэтому не должно рассматриваться в дальнейшем. Следовательно, аксиальная компонента напряжённости магнитного поля будет описываться выражением следующего вида:

$$y(r) = -\frac{A}{2}(5,2 \cdot 10^5 \cdot r^2 - 1,4 \cdot 10^3 \cdot r - 11) \cdot r$$

Рассчитанное в соответствии с этой формулой радиальное распределение аксиальной компоненты магнитного поля представлено на рис.2.



**Рис.2. Радиальное распределение амплитуды аксиальной компоненты магнитного поля высокочастотного емкостного разряда**

Как видно из рис.2 максимум магнитного поля находится на расстоянии 3,7 мм от оси разряда. Данную точку можно отождествить с радиусом канала разряда – его токоведущей зоной. В зоне канала разряда рост магнитного поля происходит по зависимости близкой к линейной, что соответствует условию слабого скин – эффекта.

На основе полученного радиального распределения аксиальной компоненты магнитного поля

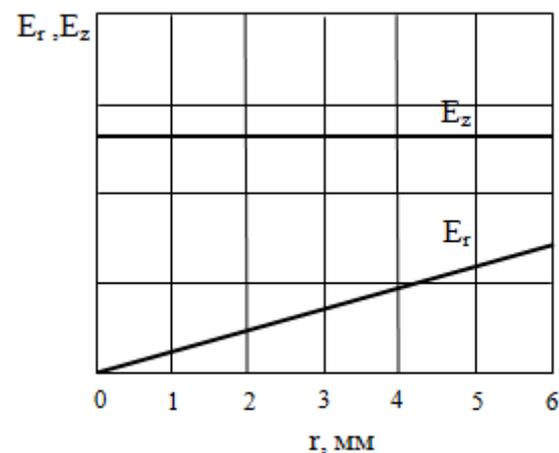
можно определить распределения компонент электрического поля.

Подставив полученные зависимости удельной электропроводности и амплитуды аксиальной компоненты магнитного поля от радиальной координаты в соответствующие уравнения, получим:

$$E_z = const = -A$$

$$E_r = \frac{jAh}{2} \cdot r$$

Распределения радиальной и осевой составляющей электрического поля высокочастотного емкостного разряда представлены на рис.3.



**Рис.3. Радиальное распределение электрического поля высокочастотного емкостного разряда**

Как видно из рисунка, электрическое поле, в отличие от магнитного поля, имеет тенденцию к росту в зоне диффузионной оболочки разряда, что обуславливает увеличение степени неравновесности плазмы в этой зоне разряда.

#### Литература:

1. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Распределение компонент электромагнитного поля и их затухание в канале высокочастотного факельного разряда при слабом скин – эффекте с учётом неоднородности радиального профиля удельной электропроводности плазмы разряда. // Известия СО АН СССР. сер. техн. н. – 1989. – Вып.3. – с.109 – 115.
2. Низкотемпературная плазма. ВЧ и СВЧ – плазмотроны. – Новосибирск: Наука, 1992. – 319с.
3. Capitelli M., Colonna G., Gorse C., D'Angola A. Transport properties of high – temperature air in local thermodynamic equilibrium // The European Physical Journal D. – 2000. – vol.11 – p. 279 – 289.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА

Мискун И.А., Луценко Ю.Ю.

Научный руководитель: Луценко Ю.Ю.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E – mail: [gepardxl@mail.ru](mailto:gepardxl@mail.ru)

При проектировании плазменных установок важную роль играет их тепловой расчёт. При проведении теплового расчёта необходимо знать величину теплового потока, направленного к стенкам разрядной камеры. Величина теплового потока будет определяться величиной удельного энерговыделения в канале разряда.

В настоящей работе проведён расчёт распределения величины удельного энерговыделения вдоль канала высокочастотного емкостного разряда, горящего в воздухе при атмосферном давлении. Величина джоулевых потерь, и соответственно удельного энерговыделения, в плазме разряда определится посредством следующего выражения:

$$W = \sigma |E|^2 \quad (1)$$

где  $\sigma$  – удельная электропроводность плазмы разряда;  $|E|$  – действующее значение напряжённости электрического поля.

Таким образом, согласно выражению (1) для расчёта удельного энерговыделения в плазме разряда необходимо определить величину удельной электропроводности плазмы и величину напряжённости электромагнитного поля.

Удельная электропроводность плазмы разряда может быть определена расчётным путём на основе известных значений газовой температуры.

Газовая температура плазмы высокочастотного емкостного разряда, горящего в воздухе, при атмосферном давлении, определялась нами по относительной интенсивности [1] вращательных переходов молекулярной полосы гидроксидла 3064 Å. Разряд имел мощность 1 кВт, с длиной канала 20 см. Частота электромагнитного поля составляла 37 МГц. Использовались линии колебательной ветви Q<sub>1</sub>. Выбирались линии свободные от наложения других линий – Q<sub>14</sub>, Q<sub>16</sub>, Q<sub>19</sub>, Q<sub>10</sub>. Для того чтобы отсечь излучение от других частей разряда использовалась диафрагма шириной 5 мм.

Результаты измерения осевого распределения газовой температуры высокочастотного емкостного разряда приведены на рис.1. Как видно из этого рисунка газовая температура вдоль оси высокочастотного емкостного разряда меняется незначительно, также как и в случае [2] высокочастотного факельного разряда.

Проведём расчёт величины удельной электропроводности воздушной плазмы высокочастотного емкостного разряда. В работе [3] показано, что в плазме высокочастотных разрядов отклонение величины концентрации электронов, и соответственно величины удельной электропроводности, от равновесных значений незначительно при температурах больших 2500...3000К. Поэтому будем

проводить расчёт удельной электропроводности, предполагая наличие локального термодинамического равновесия в плазме разряда. В этом случае величина удельной электропроводности может быть определена в соответствии с результатами работы [4]. При этом зависимость величины удельной электропроводности от температуры хорошо аппроксимируется следующей формулой:

$$\sigma = 53370T^{0.5} \exp\left(-\frac{57000}{T}\right) \quad (2)$$

Результаты расчёта осевого распределения удельной электропроводности высокочастотного емкостного разряда в соответствии с формулой (2) приведены на рис. 1.

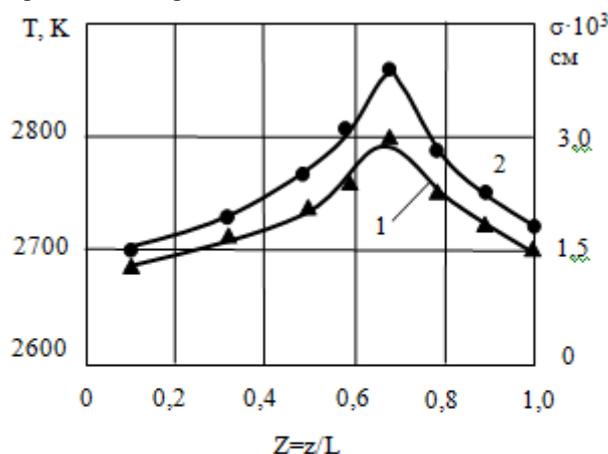


Рис.1. Осевое распределение температуры и удельной электропроводности плазмы разряда. 1 – температура; 2 – удельная электропроводность

Второй неизвестной величиной для определения удельного энерговыделения плазмы разряда является напряжённость электрического поля. Распределение радиальной компоненты напряжённости электрического поля вдоль канала разряда измерялось нами посредством емкостного зонда. Сигнал с емкостного зонда посредством линии с двойной экранировкой подавался на вход осциллографа. Зонд перемещался вдоль оси разряда. Измерения проводились в ближней зоне излучения разряда. Для определения величины напряжённости электрического поля на границе канала разряда проводились также измерения напряжённости электрического поля по радиальной координате с последующей экстраполяцией полученных результатов. Экстраполяция осуществлялась [5] функцией Ханкеля. Результаты измерений осевого распределения величины радиальной компоненты электрического поля на границе канала разряда

представлены на рис. 2. Как видно из рисунка электрическое поле вдоль оси разряда меняется незначительно. Существуют лишь две зоны, где напряжённость поля сильно меняется – вблизи высоковольтного и заземлённого электродов. Типичное радиальное распределение радиальной компоненты электрического поля, по которому проводилась экстраполяция, показано на рис. 3.

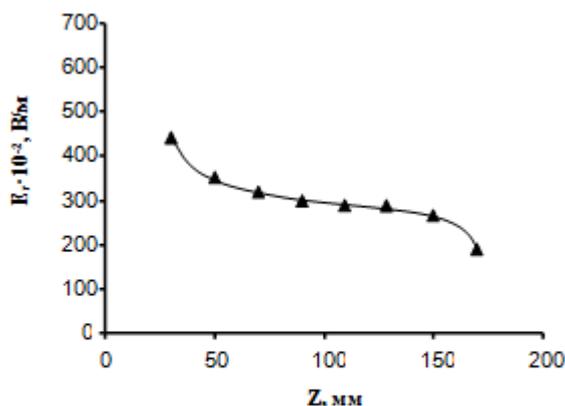


Рис.2. Распределение амплитуды радиальной компоненты напряжённости электрического поля вдоль оси высокочастотного емкостного разряда.

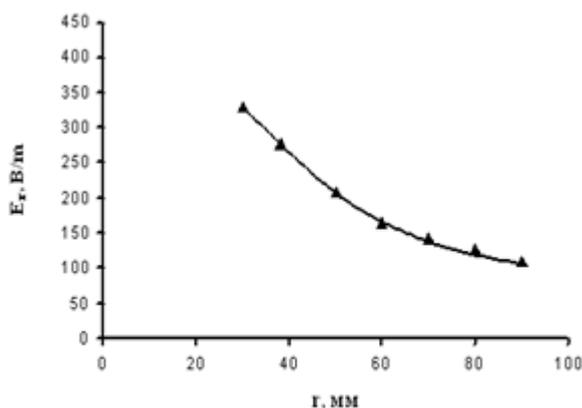


Рис.3. Радиальное распределение амплитуды радиальной компоненты напряжённости электрического поля высокочастотного емкостного разряда

Кроме радиальной компоненты электрического поля в электромагнитном поле высокочастотного емкостного разряда присутствует также осевая компонента. Величина напряжённости осевой компоненты электрического поля может быть определена [5] по следующей формуле.

$$E_z = \frac{k^2 - h^2}{ih} \int E_r dr$$

Здесь:  $k$  – постоянная распространения электромагнитной волны в воздухе;  $h$  – волновое число электромагнитной волны;  $i$  – мнимая единица;  $r$  и  $z$  – соответственно радиальная и осевая координаты.

Величина напряжённости электрического поля будет составлять собой векторную сумму радиальной и осевой компонент:

$$E = (E_r^2 + E_z^2)^{1/2}$$

Используя полученные осевые распределения удельной электропроводности плазмы разряда и напряжённости электрического поля, можно рассчитать осевое распределение удельного энерговыделения. Результаты расчёта осевого распределения величины удельного энерговыделения в плазме высокочастотного емкостного разряда представлены на рис.4.

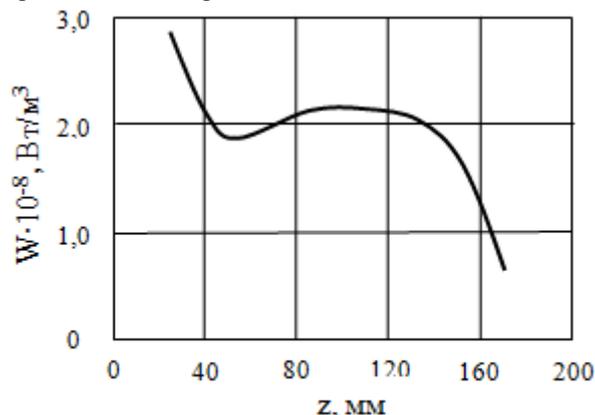


Рис.4. Осевое распределение удельного энерговыделения емкостного разряда

Из рис.4. следует, что энерговыделение максимально вблизи высоковольтного электрода, и минимально – вблизи заземлённого.

#### Литература:

1. Михалевский В.Д., Прокофьева В.В. Исследование температуры металлической дуги по молекулярному спектру гидроксила // ЖЭТФ – 1950. – т.20. – Вып.7. – с.584 – 593.
2. Мискун И.А., Зеленецкая Е.П., Луценко Ю.Ю.
3. Определение осевого распределения газовой температуры высокочастотного факельного разряда. // Материалы 17 международной конференции «Современная техника и технология». – Томск, 18-22 апреля 2011г., - т.3. - с.57 – 58.
4. Benilov M.S., Naidis G.V. Simulation of Discharges in Atmospheric – Pressure Air Sustained by Traveling Electromagnetic Waves // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2003. – vol.31. - № 4. – p. 488 – 494.
5. Capitelli M., Colonna G., Gorse C., D'Angola A. Transport properties of high – temperature air in local thermodynamic equilibrium // The European Physical Journal D. – 2000. – vol.11 – p. 279 – 289.
6. Зоммерфельд А. Электродинамика. М.: Ин. лит., 1958. – 501 с.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ШТАТНОГО, РЕГЕНЕРИРОВАННОГО И МОХ-ТОПЛИВА В СРАВНЕНИИ

Никифоров М. А., Вильхивская О. В.

Научный руководитель: Беденко С.В., канд. физ.-мат. наук, доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [bedenko@tpu.ru](mailto:bedenko@tpu.ru)

**Состояние исследований.** Длительная эксплуатация большого парка энергетических ядерных реакторов приводит к образованию большого количества облученного ядерного топлива (ОЯТ). Существует две возможности обращения с ОЯТ, сводящихся либо к его долговременному хранению, либо к повторному использованию. В настоящее время вопрос о выборе стратегии обращения с ОЯТ остается дискуссионным, но в любом случае необходимость обеспечения безопасности обращения с ОЯТ остается актуальной. Это определяет целесообразность и значимость исследований детальных характеристик поля излучения, образованного ОЯТ.

Возврат урана и плутония в топливный цикл АЭС изучается давно. В настоящее время в 33 реакторах Франции, Германии, Бельгии и Швейцарии используется такое топливо с загрузкой ~ 30 % [1].

Особенностью регенерированного урана является то, что кроме изотопов  $U^{234}$ ,  $U^{235}$  и  $U^{238}$  в топливе содержатся  $U^{232}$  и  $U^{236}$ , которые уже после первого рецикла ухудшают радиационные характеристики ОЯТ на всех стадиях ЯТЦ. При повторном использовании регенерированного урана в ядерных реакторах содержание  $U^{236}$  и  $U^{232}$  будет возрастать, что может привести к усложнению радиационной обстановки вблизи такого ОЯТ.

Настоящая работа посвящена расчетным исследованиям радиационных характеристик усовершенствованного топлива, эксплуатировавшегося в реакторах типа ВВЭР, PWR и BWR на стадиях его хранения, транспортировки и переработки.

**Процедура расчета нейтронной и  $\gamma$ -составляющей радиационных характеристик ОЯТ реакторов ВВЭР, BWR и PWR.** Альфа-частицы появляются в результате  $\alpha$ -распадов тяжелых атомов.  $\beta$ -частицы – при  $\beta$ -распадах как тяжелых атомов, так и продуктов деления,  $\gamma$ -кванты появляются при всех типах распадов. Кроме того, вклад в генерацию  $\gamma$ -квантов вносят и облученные конструкционные материалы. Нейтроны появляются в результате спонтанного деления актиноидов, ( $\alpha, n$ )-реакций на легких элементах и реакции ( $\gamma, n$ ).

Нейтронное и  $\gamma$ -излучение обладает наибольшей проникающей способностью, по этой причине представляют наибольший интерес и рассматривались в настоящей работе.

Нуклидный состав топлива рассчитывался с использованием программы ORIGEN-ARP (SCALE 5.0), с помощью 27-и групповой системы

констант, с использованием библиотеки оцененных ядерных данных ENDF/B-IV.

При подготовке констант для расчета спектрального состава нейтронного и фотонного источников излучения в ОЯТ использовалось многогрупповое приближение в одномерной цилиндрической геометрии. Нейтронный спектр рассчитывался с использованием 27-и групповой библиотеки ядерных данных ENDF4, спектр фотонного излучения определен в 18-ти групповом приближении 18GrpSCALE. В процессе выгорания константы могут неоднократно пересчитываться с учетом изменения спектра и выделяемой мощности.

ORIGEN-ARP широко используется в мировой практике для расчетов источников излучения в ОТВС, однако не учитывает механизм образования нейтронов по каналу ( $\gamma, n$ )-реакции.

Источником высокоэнергетических  $\gamma$ -квантов является спонтанное деление ядер актиноидов. Учитывая вероятность образования  $\gamma$ -квантов высоких энергий (~ 0,4% [2, 5]) и сравнительно большую концентрацию актиноидов в ОЯТ, на которых идет реакция ( $\gamma, n$ ), полностью исключить вторичное образование нейтронов по этому механизму нельзя [3].

Удельная интенсивность нейтронного излучения, обусловленная протеканием ( $\gamma, n$ )-реакции определяется соотношением вида:

$$q_i^{(n)}(z) = A_k^i(z) \times \sigma_i^{(n)} \times N_i(z) / \mu_j(z), \text{ где:}$$

$A_k^i(z)$  – удельная интенсивность генерации  $\gamma$ -квантов, испускаемых  $k$ -м нуклидом,  $\gamma$ -квант/(с·г);

$N_i(z)$  – концентрация ядер  $i$ -го актиноида в соединении, см<sup>-3</sup>;  $\sigma_i^{(n)}$  – микроскопическое эффективное сечение ( $\gamma, n$ )-реакции на  $i$ -м актиноиде, см<sup>2</sup>;

$\mu_j(z)$  – полный коэффициент взаимодействия  $\gamma$ -квантов для  $j$ -го соединения, включающий фото-ядерное взаимодействие, см<sup>-1</sup>.

Значения сечений реакции оценено с использованием Боровского механизма при описании образования промежуточного ядра с последующим вылетом продуктов деления [4]

$$\sigma_{0i}^{(n)} = \sigma_{0i}^{(n)} (\Gamma_i/2)^2 (E_{0i}/E_i)^{1/2} / ((E_i - E_{0i})^2 + (\Gamma_i/2)^2), \text{ где:}$$

$\sigma_{0i}^{(n)}$  – максимальное значение сечения резонанса  $i$ -го актиноида;  $\Gamma_i$  – полуширина резонанса  $i$ -го актиноида;  $E_{0i}$  – энергия максимума резонанса  $i$ -го актиноида.

Точность определения сечения ( $\gamma, n$ )-реакций вблизи резонанса находится в пределах от 3 до 30 %. Процедура и результаты расчета более подробно изложены в работах (авторы) [1, 5].

**Исходные данные для расчета.** Расчет нуклидного состава проводился для штатного, регенерированного и МОХ-топлива облучаемого в реакторах ВВЭР-1000, PWR и BWR. Исходный нуклидный состав штатного топлива следующий, % по массе: U234 – 0.036, U235 – 4.000, U238 – 95.964. Исходный нуклидный состав регенерированного топлива, %: U232 –  $2 \cdot 10^{-7}$ , U234 – 0.043, U235 – 4.139, U236 – 0.463, U238 – 95.355. Исходный нуклидный состав МОХ-топлива, %: U235 – 1.500, U238 – 94.500, Pu – 4.000. Изотопная композиция Pu: Pu239 – 70 %, Pu240 – 25 %, Pu241 – 5 %.

**Результаты расчетов.** Топливо облучается в реакторе  $\sim 1100$  эфф. суток (топливный цикл длительностью  $3 \times 365$  эфф. сут). Расчетное значение глубины выгорания составило 56,69 МВт-сут/т (т.м.). Рассчитан и проанализирован изотопный состав ОЯТ реакторов ВВЭР, PWR и BWR. Определен спектральный состав нейтронного и фотонного источников излучения в ОЯТ этих реакторов. Получены нейтронная и  $\gamma$ -составляющая радиационных характеристик ОЯТ реакторов ВВЭР, PWR и BWR для выгораний – 28, 40 и 57 МВт-сут/т и выдержках – 2, 3 и 7 лет. При расчете интенсивности нейтронного излучения учтён механизм образования нейтронов по каналу ( $\gamma, n$ )-реакции.

Рассчитанная в настоящей работе нейтронная составляющая радиационных характеристик ОЯТ занижена, а погрешность не превышает 20-30%, так концентрации ключевых актиноидов, являющихся основными источниками нейтронов определяются SCALE с погрешностью в 20-30%. Погрешность в определении гамма составляющей радиационных характеристик не превышает 8-10%, так как концентрации продуктов деления, которые являются основными  $\gamma$ -излучателями, определяется SCALE гораздо точнее [3].

#### **Выводы.**

1. Анализ результатов расчета показал, что нейтронная и  $\gamma$ -составляющая радиационных характеристик регенерированного топлива (после первого рецикла) практически не отличается от аналогичных характеристик штатного топлива при тех же режимах облучения.
2. При расчете дозовых характеристик необходимо учитывать энергетический спектр нейтронов, в особенности от ( $\alpha, n$ )-реакций на кислороде, так как спектр таких нейтронов существенно «жестче» в сравнении со спектром нейтронов спонтанного деления.
3. Радиационные характеристики облученного МОХ-топлива в 2-7 раз (в зависимости от глубины выгорания и типа топлива) превышают таковые для облученного штатного и регенерированного топлива.

#### **Список литературы:**

1. Беденко С.В., Шаманин И.В. Нейтронная активность отработанного керамического ядерного топлива // Известия вузов. Физика. – 2011. – Т. 54. – № 11/2. – С. 51–56.
2. Внуков В.С. Глубина выгорания как параметр ядерной безопасности хранилищ и транспортных упаковочных комплектов с отработавшим ядерным топливом. – Атомная техника за рубежом. – 1990. – № 12. – С. 9–11.
3. Шаманин И.В., Буланенко В.И., Беденко С.В. Поле нейтронного излучения облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 97–103.
4. Беденко С.В., Гнетков Ф.В., Кадочников С.Д. Дозовые характеристики полей нейтронов облученного керамического ядерного топлива различных типов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 1. – С. 6–12.
5. Шаманин И.В., Беденко С.В., Павлюк А.О., Лызко В.А. Использование программы ORIGEN-ARP при расчете изотопного состава отработанного топлива реактора ВВЭР-1000 // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 25–28.

## ИЗМЕНЕНИЕ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Петрова В.Н., Тишкова В.С.

Научный руководитель: Янин С.Н., д.ф.-м.н., профессор  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [vale4ka.1989@mail.ru](mailto:vale4ka.1989@mail.ru)

### Введение

При воздействии потоков плазмы и ионизирующих излучений на материалы происходят различные физические явления, которые могут приводить к изменению потенциалов межатомного взаимодействия. В частности, в области трека быстрой заряженной частицы, а также вблизи поверхности твердого тела при интенсивном облучении возникают ионизированные атомы, потенциалы взаимодействия которых с окружающими частицами существенно изменяются. Также ионизирующее излучение большой мощности оказывает существенное влияние на свойства свободного электронного газа в металлах. Это явление приводит к изменению экранизирующих свойств газа свободных электронов, что вызывает, в свою очередь, изменение потенциалов межатомного взаимодействия. Для изучения поведения частично или полностью ионизированного вещества, а также вещества с возбужденной электронной подсистемой необходимо знать соответствующие потенциалы межатомного взаимодействия.

Для расчета потенциалов парного взаимодействия при ионизации вещества и возбуждении электронной подсистемы использовался метод псевдопотенциалов.

### Метод псевдопотенциалов

В методе псевдопотенциалов эффективное парное взаимодействие между ионами представляется в виде

$$\varphi(r) = \varphi_{np}(r) + \varphi_{косв}(r),$$

где  $\varphi_{np}$  – потенциал прямого кулоновского взаимодействия между ионами;  $\varphi_{косв}(r)$  – потенциал косвенного взаимодействия через электроны проводимости.

$$\varphi_{косв}(r) = -\frac{\Omega}{\pi^2} \int_0^\infty F(q) \frac{\sin qr}{qr} q^2 dq,$$

где  $\Omega$  – атомный объем;  $F(q)$  – характеристическая функция

$$F(q) = \left| \omega^0(q) \right|^2 \varepsilon(q) \chi(q)$$

$$\chi(q) = -\frac{1}{2} Z \left( \frac{2}{3} E_r \right)^{-1} \left( \frac{1}{2} + \frac{4k_F - q^2}{8qk_F} \ln \left| \frac{q + 2k_F}{q - 2k_F} \right| \right),$$

где  $Z$  – валентность;  $E_F$  и  $k_F$  – энергия и импульс Ферми соответственно;  $\omega^0(q)$  – форм-фактор псевдопотенциала «голового» иона, описывающий электрон-ионное взаимодействие;  $\varepsilon(q)$  – диэлектрическая проницаемость, вводимая для учета экранирования поля ионов электронами проводимости и

эффектов электрон-электронного взаимодействия [1].

Вычисления формфактора проводились с использованием модельного псевдопотенциала Хейне – Абаренкова – Анималу, характеризующего энергию взаимодействия электрона проводимости с ионным остовом, который записывается в форме:

$$W(r) = -\sum A_l(E) P_l, \quad r \leq R_M,$$

$$W(r) = -z/r, \quad r > R_M,$$

где  $P_l$  – проекционный оператор, выделяющий из волновой функции, на которую он действует, компонент с орбитальным квантовым числом  $l$ ;  $E$  – энергия соответствующего состояния;  $A_l$  – параметр, характеризующий глубину потенциальной ямы;  $z$  – заряд иона;  $R_M$  – модельный радиус.

В данном случае внутри некоторой сферы радиуса  $R_M$  потенциал постоянен, а за ее пределами ( $r > R_M$ ) является чисто кулоновским. Параметры  $R_M$  и  $A_l$  находят, используя сведения об энергетических уровнях  $E_{ni}$  свободного электрона в поле положительного иона, определяемые, в свою очередь, по спектроскопическим термам свободного иона [2].

### Расчет потенциалов взаимодействия для ионизированных атомов

При воздействии ионизирующих излучений высокой интенсивности на вещество, вблизи трека быстрой заряженной частицы происходит ионизация среды, повышение энергии электронов, изменение их концентрации и т.д.

Потенциалы взаимодействия алюминия в ионизированной среде были рассчитаны методом псевдопотенциалов с использованием формфакторов Хейне – Абаренкова – Анималу.

Таблица 1. Параметры модельного потенциала

Z	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	R <sub>m</sub>	R <sub>c</sub>	α
3	1,38	1,64	1,92	2	1,08	0,024
4	1,45	1,756	1,46	2	1,05	0,022

На рис. 1 показаны рассчитанные на основе данных таблицы 1 потенциалы межатомного взаимодействия в алюминии для различных зарядовых состояний. Расчет выполнен для случая, когда концентрация ионизированных атомов невелика, и, следовательно, концентрация электронов проводимости не отличается от обычной.

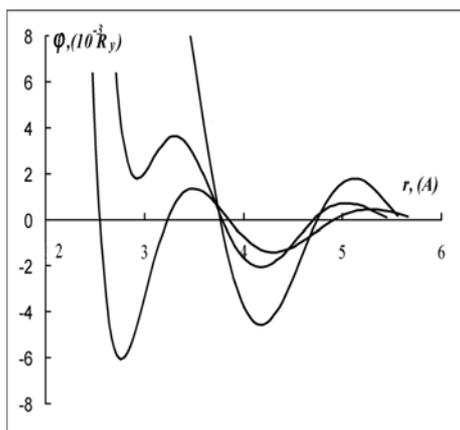


Рис.1. Потенциалы межатомного взаимодействия для алюминия: 1 – для двух трехзарядных ионов; 2 – для трех- и четырехзарядного ионов; 3 – для двух четырехзарядных ионов

Как видно на рисунке, ионизация приводит к тому, что глубина первого минимума потенциальной функции, соответствующего расстоянию между ближайшими соседями для трех- и четырехзарядного ионов, существенно уменьшается по сравнению со случаем нормальных трехзарядных состояний. Более того, для пары четырехзарядных частиц первый минимум вообще исчезает. Атомы попадают на ветвь отталкивания потенциала взаимодействия, в результате чего кристаллическая решетка переходит в неравновесное состояние [3].

Потенциалы взаимодействия алюминия при возбуждении электронной подсистемы также были рассчитаны методом псевдопотенциалов с использованием формфакторов Хейне – Абаренкова – Анималу.

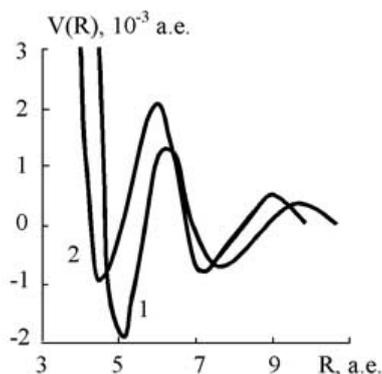


Рис.2. Потенциалы межатомного взаимодействия для алюминия: 1 – в нормальном состоянии; 2 – импульс электронов проводимости на 10% превышает фермиевский

На рис. 2 показаны потенциалы межатомного взаимодействия для нормального состояния и для случая, когда концентрация валентных электронов на 30% превышает нормальную (в том случае импульс электронов на поверхности Ферми возрастет на 10%) [3]. Подобный локальный рост концентрации может возникнуть в области трека быстрой заряженной частицы и приводить к “размягчению” кристаллической решетки.

### Заключение

Таким образом, рассчитаны потенциалы межатомного взаимодействия методом псевдопотенциалов с использованием формфакторов Хейне – Абаренкова – Анималу для ионизированного вещества и в случае возбуждения электронной подсистемы. Обнаружено, что у атома в нормальном зарядовом состоянии и дополнительно ионизированного глубина первого минимума в потенциальной функции уменьшается. Более того, у пары ионизированных частиц первый минимум в потенциальной функции вообще исчезает, в результате чего они попадают на ветвь отталкивания.

На основе псевдопотенциального подхода проанализировано поведение потенциалов межатомного взаимодействия в алюминии в условиях возбуждения электронной подсистемы. Обнаружено, что тепловое размытие поверхности Ферми не приводит к существенному изменению сил межатомного взаимодействия. В то же время локальное увеличение концентрации электронов проводимости вызывает “размягчение” кристаллической решетки, когда равновесной становится конфигурация с меньшим межатомным расстоянием.

### Литература

1. Ухов В.Ф., Ватолин Н.А., Гельчинский Б.Р., Беспачко В.П., Есин О.А. Межчастичное взаимодействие в жидких металлах. – М.: Наука, 1979, –195 с.
2. Animaly A.O.E.//Phys. Rev. B. 1973. V. 8. P. 3542.
3. Кривобоков В.П., Янин С.Н. Потенциалы межатомного взаимодействия в металлах в условиях воздействия ионизирующих излучений. // Известия высших учебных заведений. Физика – Вып. 2010 -т.53,№10/2.–с.103-107.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Покровская Е.А., Родионова Е.П.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к. ф.-м. н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [082009\\_step@mail.ru](mailto:082009_step@mail.ru)

Научно-техническая революция была подготовлена выдающимися открытиями XX века и бурным развитием производства. Это не только успехи ядерной физики, химии и т.д., но и непрекращающийся рост числа городов и городского населения. Возросли в сотни раз объемы промышленного производства. Такая активная деятельность человека не проходит для природы бесследно, поскольку ресурсы, необходимые для ускорения научно-технического прогресса, черпаются непосредственно из биосферы. В связи с этим в последнее время перед человечеством весьма остро встала проблема загрязнения окружающей среды. Отрицательное влияние техногенного воздействия на биосферу испытывают не только жители крупных городов, но и сельских районов.

В общей задаче охраны внешней среды проблема обеспечения чистоты атмосферы является особо важной. Это обусловлено тем, что загрязнение воздушного бассейна представляет угрозу как здоровью человека, так и всей окружающей среде в целом. В литературе широко используется удачный пример Дж. Голдсмита, в котором указывается, что человек потребляет в среднем в сутки 1 кг пищи, 1,5 кг воды, а через его легкие проходит 12 кг воздуха, но при этом он может прожить примерно пять недель без пищи, пять суток без воды, но только пять минут без воздуха.

В связи с этим изучение законов, по которым происходит перенос примесей в атмосфере, приобретает существенное значение. Математическое моделирование, основанное на этих законах, осуществлять прогнозирование уровней загрязнений и определять наиболее опасные зоны. Наиболее часто для моделирования переноса вредных веществ используется диффузионно-конвективное уравнение, которое для средних значений концентраций примеси  $q$  в турбулентной атмосфере имеет вид [1]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q \quad (1)$$

Здесь оси  $x$  и  $y$  расположены в горизонтальной плоскости, ось  $z$  – по вертикали;  $t$  – время;  $u, v, w$  – средние скорости перемещения примеси за счет конвективного переноса соответственно по направлению осей  $x, y, z$ ;  $k_x, k_y, k_z$  – горизонтальные и вертикальные составляющие коэффициента диффузионного обмена;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет превращения примеси. В случае изучения загрязнения воздуха химическими элементами  $\alpha=0$ .

При решении конкретных задач уравнение (1) может принимать ряд упрощений. Так, рассмотренные установившегося процесса позволяет принять

$\frac{\partial q}{\partial t} = 0$ . Данное упрощение особенно целесообразно использовать при длительных периодах экспозиции загрязнения. Например, при использовании в исследованиях мхов-биоиндикаторов длительность экспозиции составляет год и более [2].

Рассмотрим перемещение примеси в горизонтальной плоскости. Если ось  $x$  ориентировать в направлении ветра, то  $v=0$ . Вертикальные движения в атмосфере над горизонтальной однородной поверхностью малы и могут не учитываться. Ось  $z$  обычно направлена вверх, поэтому в случае тяжелых примесей  $w$  равняется (со знаком минус) скорости их гравитационного осаждения, а для легких примесей, не имеющих собственной скорости осаждения, можно принять  $w=0$ .

При наличии ветра можно пренебречь членом, учитывающим диффузию по оси  $x$ , поскольку в этом направлении диффузионный поток примеси значительно меньше конвективного, т.е.

$$k_x \frac{\partial q}{\partial x} = 0.$$

С поверхностью почвы примеси обычно слабо взаимодействуют. Попав на поверхность почвы, часть примеси с турбулентными вихрями снова уносятся в атмосферу. Так как исследование проходит либо на урбанизированной территории, где находятся застройки, либо на территории за чертой города, которая относится к лесостепи, то средний турбулентный поток примеси у земной поверхности мал, т.е. при  $z=0$   $k_y \frac{\partial q}{\partial y} = 0$ .

В случае установившейся диффузии при условиях горизонтально однородной местности после указанных упрощений исходное уравнение принимает вид:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z}. \quad (2)$$

Это уравнение учитывает турбулентную диффузию в вертикальном направлении, характеризующую коэффициентом диффузионного обмена  $k_z$ , перемещением по ветру в направлении оси  $x$  со скоростью  $u$  и гравитационным осаждением со скоростью  $w$ .

Строго говоря, выбросы в атмосферу осуществляются от объемных источников. Однако размеры источников, как правило, малы по сравнению с расстояниями, на которых исследуется создаваемое ими поле концентрации. Поэтому при постановке начальных условий источник загрязнения принимается за точечный.

Для точечного источника, расположенного в точке  $x=0$ , граничное условие  $y=0$  и  $z=H$ , записывается в форме:

$$uq = M\delta(y)\delta(z-H) \text{ при } x=0,$$

где  $M$  – выброс вещества от источника в единицу времени,  $\delta(z-H)$  – дельта функция, описывающая высоту трубы источника  $H$ .

Граничные условия на бесконечном удалении от источника принимаются в соответствии с естественным предположением о том, что при этом концентрация убывает до нуля:

$$\begin{aligned} q &\rightarrow 0 \text{ при } z \rightarrow \infty, \\ q &\rightarrow 0 \text{ при } |x| \rightarrow \infty, \\ q &\rightarrow 0 \text{ при } |y| \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Решение уравнения (2) можно найти либо аналитически, задаваясь удобной аппроксимацией зависимости скорости ветра и коэффициентов диффузии от высоты, либо численно, моделируя процессы турбулентного переноса тепла и количества движения в пограничном слое атмосферы. В данном случае решение находим аналитически.

При расчете средней концентрации в приземном слое атмосферы определяющее значение имеют часто встречающиеся метеорологические условия. К ним относятся так называемые нормальные метеоусловия, для которых используется степенная аппроксимация скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена:

$$\begin{aligned} u &= u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n; \\ k_z &= k_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^m, \end{aligned}$$

где  $n, m$  – безразмерные параметры, соответственно подобранные для интерполяции вертикального профиля скорости ветра и коэффициента обмена. Здесь  $u_1$  и  $k_1$  – значения  $u$  и  $k_z$  при  $z=z_1$ .

При решении задачи о распределении тяжелой примеси, оседающей с постоянной скоростью  $w$ , коэффициент вертикального турбулентного обмена становится прямо пропорциональным  $z$ :

$$k_z = \frac{k_1 z}{z_1}.$$

Аналитическое решение уравнения (2) при степенной аппроксимации скорости ветра и коэффициента турбулентного обмена выглядит следующим образом [3]:

$$q = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right), \quad (3)$$

где  $\theta_1$  – параметр, зависящий от мощности источника  $M$ , скорости перемещения  $u$  по оси  $x$ , коэффициента вертикальной диффузии  $k_z$ , а также от состояния атмосферы (температурного градиента) и зависимости скорости ветра от высоты; параметр

$\theta_2$  зависит от состояния атмосферы, скорости ветра и дисперсности примеси;  $\theta_3$  – от высоты источника загрязнения, а также состояния атмосферы, коэффициента вертикальной диффузии, дисперсности частиц примеси.

Строгое определение параметров  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  невозможно в силу сложного характера атмосферных явлений, обуславливающих перенос загрязняющих примесей в атмосфере. Однако, если рассматривать эти параметры как феноменологические, то их можно определить путем аппроксимации измеренных концентраций функцией вида (3) методом наименьших квадратов. Точность аппроксимации возрастает, если при этом задать диапазоны изменения параметров, полученных на основе соответствующих оценок. Наиболее удобно это сделать для параметра  $\theta_3$ , так как он определяется в основном высотой источника  $h$ :

$$\theta_3 = \frac{h^{1+\varepsilon+\varepsilon_1}}{k_z(1+\varepsilon+\varepsilon_1)},$$

где  $\varepsilon, \varepsilon_1$  – параметры, зависящие от вертикального градиента температуры воздуха и состояния атмосферы.

Оценка параметра  $\theta_3$ , проведенная для различных атмосферных условий, показала, что диапазон изменения этого параметра составляет от 5 до 8 км. Необходимо отметить, что этот параметр примерно соответствует удвоенному расстоянию, на котором концентрация примеси достигает максимума.

Таким образом, была получена математическая модель переноса примеси в атмосфере, которая применяется на кафедре Прикладной физики ТПУ для моделирования загрязнения воздуха химическими элементами в зоне влияния точечных источников загрязнения.

#### Список литературы:

1. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. - 448 с.
2. Рыжакова Н. К., Борисенко А. Л., Меркулов В. Г., Рогова Н. С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов // Оптика атмосферы и океана, 2009 – т. 22, – №1. с. 101 – 104.
3. Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.

## МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННЕПРИСУЩИХ ПРИЗНАКОВ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Седнев Д.А.

Научные руководители: Демянюк Д.Г., к.т.н., доцент  
Кренинг Х.-М., д.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [sednev@tpu.com](mailto:sednev@tpu.com)

Российская Федерация выступает за непрерывное совершенствование существующих методов контроля и разработку новых, так как развитие атомной отрасли является одной из приоритетных задач России. Для обеспечения сохранности ядерных материалов и обеспечения безопасного использования атомной энергетики на объектах ядерно-топливного цикла обеспечены меры физической защиты, а так же функционирует система государственного учета и контроля ядерных материалов. Инициативы в данной области поддерживаются во исполнение указа Президента РФ №899 от 7 июля 2011 года, которым были утверждены восемь приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, в число которых входят «Безопасность и противодействие терроризму» и «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Основными задачами системы учета и контроля ЯМ являются: сохранение достоверности учетных данных о ЯМ и обнаружение несанкционированного доступа к ЯМ.[1] Классически используются тросовые, болтовые, замковые, проволочные, ленточные, пленочные и комбинированные ЗПУ. Но нельзя исключить человеческий фактор при производстве ЗПУ подобного типа, существует вероятность кражи ЗПУ, возможность клонировать ЗПУ для последующей кражи ЯМ и т.д. Согласно Рекомендациям по применению систем пломбирования в организациях Госкорпорации «Росатом» для целей учета и контроля ядерных материалов «отсутствуют официальные данные о пломбировочных устройствах, которые невозможно подделать».[2]

В работе проведена серия экспериментов, целью которых является разработка методики идентификации материала по внутреннеприсущему признаку для решения задач учета и контроля. Внутреннеприсущий признак основан на природных свойствах материала, которые невозможно подделать на данном этапе научно-технического прогресса.

Для разработки методики идентификации внутренне-присущих признаков материала был создан экспериментальный комплекс на основе промышленного ультразвукового дефектоскопа УСД – 60. (Рис.1)



Рисунок 1 – Экспериментальный комплекс.

Для проведения эксперимента к дефектоскопу был подключен стандартный наклонный датчик Olympus Panametrics. Выбор наклонного типа датчика был обусловлен более длинным путем звуковой волны в материале, что позволяет получить большее количество данных, избегая шумов от датчика в начальной фазе измерения и донного сигнала в конечной фазе. [3]

Эксперимент был поставлен на трех образцах размером 100 мм на 100 мм. Толщина равна 8, 10 и 12 мм. Каждый образец представляет собой две стальные пластины, соединенные с помощью сварного шва.

На каждом образце сварной шов был срезан на 4 см от края, для обеспечения акустического контакта, необходимого для проведения измерений. На образцах толщиной 10 и 12 мм была произведена полировка места среза для исследования зависимости стабильности получаемых данных от качества исследуемой поверхности.

Для подтверждения достоверности проводимого эксперимента было выбрано 9 различных точек измерения на 3-х образцах.

В каждой точке было сделано 50 измерений. Точность позиции корректировалась с помощью направляющей конструкции

При проведении эксперимента, для исключения изменений во внутреннюю структуру сварного шва с внешней или внутренней стороны, была выбрана контролируемая «Область интереса» (Рис. 2) Она была выбрана за 2 мм до внутренней поверхности образца.

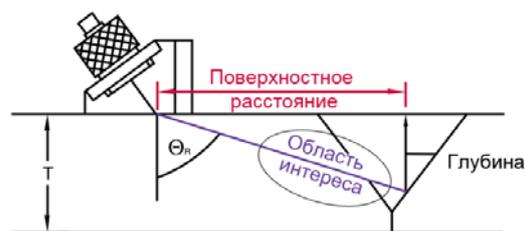


Рисунок 2 – Область интереса при исследовании акустических шумов

Для снятия сигнала с дефектоскопа и его последующей обработки использовался набор стандартного программного обеспечения. При разработке методики эксперимента был изучен опыт определения уникального признака, который используется в одной из самых надежных систем идентификации – биометрии. Анализ обработки графических сигналов для задач идентификации был изучен на примере дактилоскопии. После снятия отпечатка пальца в виде графического изображения, происходит оцифровка и анализ исходных данных. Затем выделяются характерные точки, называемые “минутцы” и на их основе строится эталонный образец. При последующей аутентификации контрольный отпечаток проходит через те же этапы обработки и анализа. В дальнейшем производится сравнение выделенных “минутций” с порог идентичности характерных точек равным 65%. Этот порог был взят за отсчетную точку при разработке и тестировании методики

Для исследования выбран RF сигнал (радиосигнал,) в режиме А развертки, как предоставляющий возможность получать данные в их реальном виде, аналогично экрану осциллографа (Рис. 3)

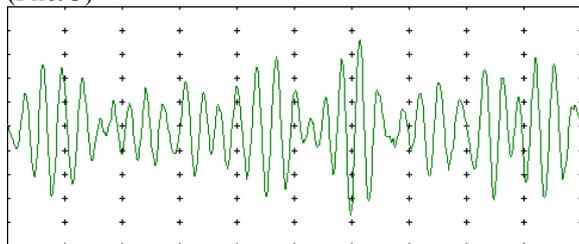


Рисунок 3 – Пример RF сигнала

Были получены 50 изображений радиоволнового сигнала в формате portable network graphics (png) с каждой из 9 исследуемых точек. Анализ данных полученных с исследуемых точек показал, что полученные акустические шумы уникальны для каждой точки

Для последующей обработки сигнала графические данные были преобразованы в массив чисел описывающих кривую, находящуюся на изображении. Количество координат точек было усреднено, для минимизации погрешностей при оцифровке начальные и конечные значения были отброшены. В полученных значениях амплитуды произведен поиск пиков. В результате эксперимента установлено, что оптимальное значение количества пиков лежит в промежутке от 38 до 43. Был произведен отбор необходимого количества пиков максимальных пиков исследуемой функции.

Полученные пики являются эталонным значением для данной точки измерения и автоматически описываются соответствующей функцией. Эти

данные будут использоваться для подтверждения идентичности сварного соединения.

Для подтверждения идентичности (аутентификации) производится контрольное измерение в точке контроля и для полученных данных проводятся те же шаги, что и при получении эталонного значения, за исключением получения средней величины амплитуды. Осуществляется сравнение полученных данных с эталонным значением. Для этого выполняется деление эталонной функции на контрольную. Результатом операции станут данные различия амплитуды в координате X эталонной функции. Для их оценки требуется установить доверительный интервал таким образом, чтобы учесть максимальное количество совпадающих пиков и минимизировать включение в итоговый результат ложных данных. Опытным путем установлено, что с превышением ширины доверительного интервала в 0,4 единицы количество ложных данных при аутентификации значительно увеличивается. Примем доверительный интервал [0,8 ... 1,2].

Точность совпадения при успешной аутентификации составляет от 72,5% до 87,5. Наиболее часто расхождения с эталоном появляются в начальных и конечных значениях массивов данных. При использовании данных с другой точки измерения точность совпадения лежит в промежутке от 12,5% до 45%. (Рис. 5.16)

Результат, полученный в ходе эксперимента, подтвердил состоятельность применения выбранного сочетания внутреннеприсущего признака и метода контроля. Достигнутые уровни совпадения характерных точек при успешной аутентификации превышают заданный порог в 65% и значительно отличаются от процента совпавших точек при попытке аутентификации с другой контрольной точкой.

#### Литература:

1. Положение о системе государственного учета и контроля ядерных материалов (в ред. Постановлений Правительства РФ от 22.04.2009 N 351, от 04.02.2011 N 48) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atombroker.ru>, свободный.
2. Рекомендации по применению систем пломбирования в организациях Госкорпорации «Росатом» для целей учета и контроля ядерных материалов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vniia.ru>, свободный.
3. Yastrebova, O., Kröning, M., Bulavinov, A. Real-time Measurement of Relative Sensor Position Changes using Ultrasonic Signal Evaluation. –Stuttgart : 34. MPA-Seminar, 2008. – 23-29 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Соболева В.В., Блеко В.В., Шевелёв М.В.

Научный руководитель: Науменко Г.А., д.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

В последнее время появилось много работ посвященных метаматериалам, то есть, материалам, созданным искусственным образом и обладающим электромагнитными свойствами сложно достижимыми технологически, либо не встречающимися в природе [1]. Как известно, большинство веществ, встречающихся в природе, обладают коэффициентом преломления больше, либо равным единице. Метаматериалам характерны коэффициенты преломления меньше единицы. И особый интерес привлекают метаматериалы, обладающие отрицательным коэффициентом преломления [2,3,4].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований прохождения излучения через мишень, представляющую собой призму, в основании которой лежит прямоугольный треугольник. Сама мишень состоит из пластин, которые расположены параллельно друг другу с периодом 5 мм. На пластины с одной стороны нанесены антенны, параметры которых приведены на рисунке 1, а с обратной стороны по разрывам рамок нанесены полоски. Значения параметров разрезных рамок приведены в таблице 1.

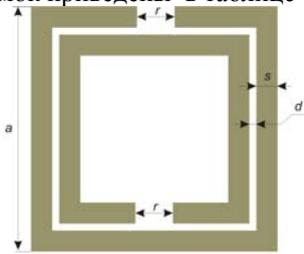


Рис. 1. Ячейка из разрезных квадратных рамок  
Таблица 1

Размеры ячейки	
Размеры	Мишень LHM-1'
$a, \text{ мм}$	11.6
$d, \text{ мм}$	0.5
$s, \text{ мм}$	0.4
$r, \text{ мм}$	0.5

Исследования проводились на реальных фотонах от излучателя в миллиметровом диапазоне длин волн. Схема эксперимента представлена на рисунке 2. В фокусе параболического зеркала расположен источник излучения – излучатель на основе диода Ганна, спектр которого можно менять, изменяя объем резонатора. Такое расположение излучателя позволяет с помощью параболического зеркала сформировать параллельный пучок излучения, который, падая на мишень и проходя через нее, регистрируется детектором, находящимся в фокусе параболического телескопа. В условиях данного эксперимента поворот мишени по часовой стрелке считается положительным.

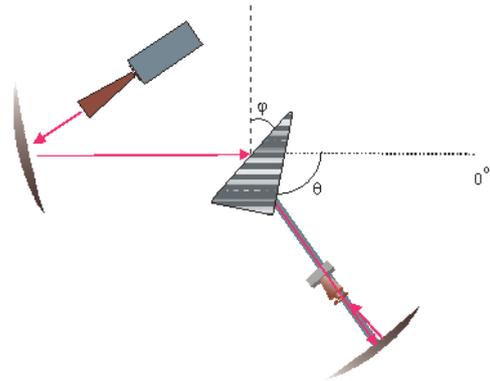


Рис.2. Схема экспериментальной установки  
Детектор DP21M-01, используемый для регистрации излучения, предназначен для регистрации электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 3 до 30 мм. Чувствительность детектора 0,3 В/мВт.

В эксперименте исследовались две геометрии прохождения излучения через мишень (рис. 3).

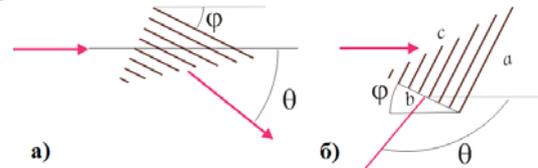


Рис.3. Геометрии прохождения излучения через мишень

Следует отметить, что обе геометрии формально соответствуют отрицательному показателю преломления материала мишени. Угловые распределения, полученные для обоих случаев, представлены на рисунке 4.

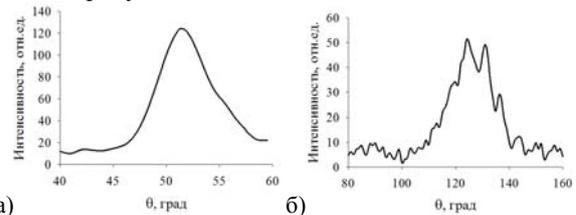


Рис. 4. Зависимость интенсивности излучения от угла наблюдения для геометрии 3а (а) и 3б (б)

С помощью интерферометра, принцип работы которого описан в [5], были получены интерферограммы для излучения, проходящего через мишень и излучения падающего на неё. Используя обратное преобразование Фурье, из интерферограмм могут быть получены спектры излучения от мишеней. Спектры, полученные из интерферограмм исходного и преломлённого излучения, представлены на рисунках 5 и 6.

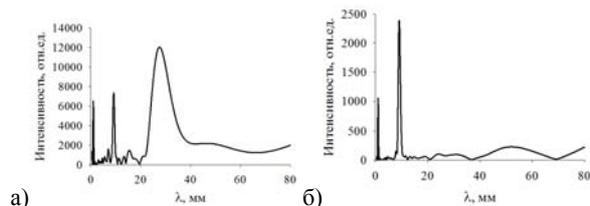


Рис.5. Спектр излучателя (а) и спектр излучения, проходящего через мишень (б) в геометрии 3а

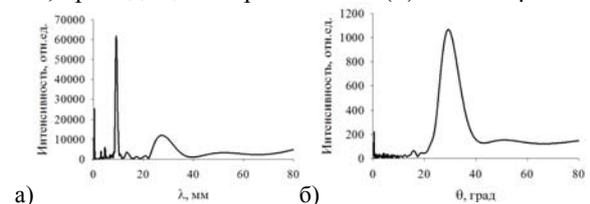


Рис.6. Спектр излучателя (а) и спектр излучения, проходящего через мишень (б) в геометрии 3б

При сравнении спектров, представленных на рисунке 5 и 6, видим, что через мишень в геометрии 3а проходят длины волн 9 мм, а в геометрии 3б, напротив, проходят более длинные волны – 29 мм.

На рисунках 7 и 8 приведены полученные зависимости интенсивности излучения от угла наблюдения  $\theta$  и от угла поворота мишени  $\varphi$ .

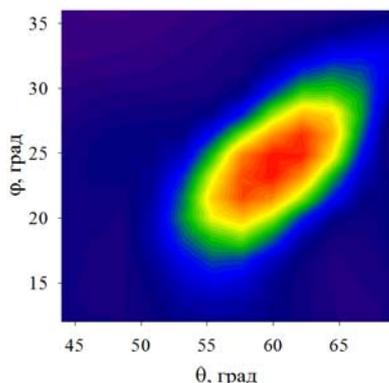


Рис.7. Экспериментально измеренная зависимость интенсивности излучения от угла наблюдения и угла поворота мишени в геометрии 3а

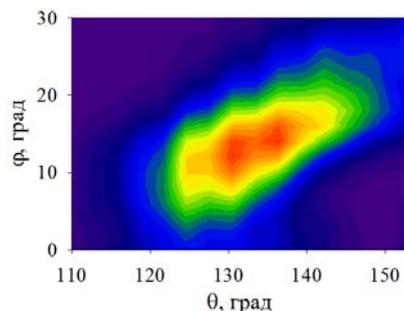


Рис.8. Экспериментально измеренная зависимость интенсивности излучения от угла наблюдения и угла поворота мишени в геометрии 3б

Как видно из полученных зависимостей, область излучения в этих координатах не является протяжённой, а носит локальный (островной) характер, что указывает на жёсткую связь между угловыми и спектральными характеристиками в процессе преломления излучения. Одновременно наблюдается корреляция между углом поворота мишени и углом наблюдения.

Эти эксперименты являются предварительными исследованиями радиационных характеристик мишеней из метаматериалов для выбора геометрии излучения в экспериментах на выведенном электронном пучке микротрона ФТИ ТПУ.

#### Список литературы:

1. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы// Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – №7. – С.70
2. Smith D., Padilla W., Vier D., et. al. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity // Phys. Rev. Lett.-2000.-Vol. 84.- No. 18.- P. 4182-4187.
3. Pendry J. Negative Refraction Makes a Perfect Lens // Phys. Rev. Lett.- 2000.- Vol. 85.- No. 18.- P. 3966-3969.
4. Веселаго В.Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$ // УФН. – 1967. – 92 517
5. Науменко Г.А., Потылицын А.П., Шевелёв М.В. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2009. – №11/2. – С.254.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Соболев В.И.

Научный руководитель: Оствальд Р.В., к.х.н., доцент.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [sobolev1989@gmail.com](mailto:sobolev1989@gmail.com)

Одним из наиболее широко применяющихся методов вскрытия руд технологических материалов в атомной промышленности является окислительное фторирование. Особое место среди окислительных фторирующих агентов занимает фторид брома (III) как один из наиболее удобных в применении, что объясняется его меньшей активностью, а также тем, что при нормальных условиях  $\text{BrF}_3$  находится в виде жидкости. Этим объясняется, например, его применение в урановой промышленности, где он используется для фторирования как урана, так и сопутствующих ему редкоземельных элементов [1]. Однако, не во всех случаях возможно его применение, ввиду высокой коррозионной активности и взрывоопасности.

Целью данной работы являлось апробирование жидкофазного метода синтеза тетрафтороброматов щелочноземельных металлов, с применением жидкого  $\text{BrF}_3$ . По аналогии с комплексными соединениями щелочных металлов [2], изучались возможности синтеза тетрафтороброматов магния  $\text{Mg}(\text{BrF}_4)_2$ , кальция  $\text{Ca}(\text{BrF}_4)_2$ , стронция  $\text{Sr}(\text{BrF}_4)_2$  и бария  $\text{Ba}(\text{BrF}_4)_2$ . Так же была проведена аналитическая диагностика продуктов реакций синтеза.

Для синтеза вышеперечисленных соединений использовался жидкофазный метод синтеза, с применением жидкого трифторида брома и порошков фторидов металлов. Общая реакция синтеза показана ниже:



Методика проведения эксперимента состояла в следующем: навеска фторида металла прокаливалась в печи при  $150^\circ\text{C}$  для удаления остаточной влаги в течение 30 минут, затем фторид высыпался в пробирку и заливался инертной жидкостью для предотвращения выбросов вещества при дальнейшем добавлении трифторида брома. Все вещества участвующие в химической реакции добавлялись строго в стехиометрических количествах для предотвращения образования третьей фазы. Все полученные соединения, с целью первичного визуального анализа, были рассмотрены на цифровом микроскопе, результаты исследования представлены на рис.1. В рамках проведенного исследований был проведен также термогравиметрический анализ, а так же исследование продуктов реакции с применением рентгенофазового анализа.

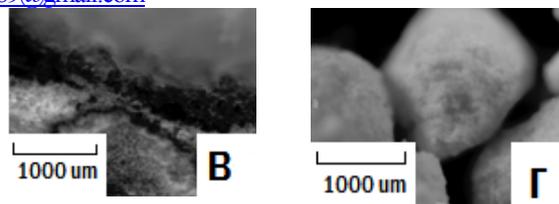
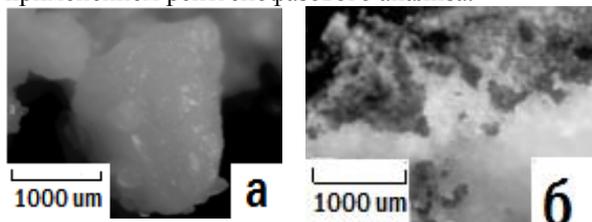
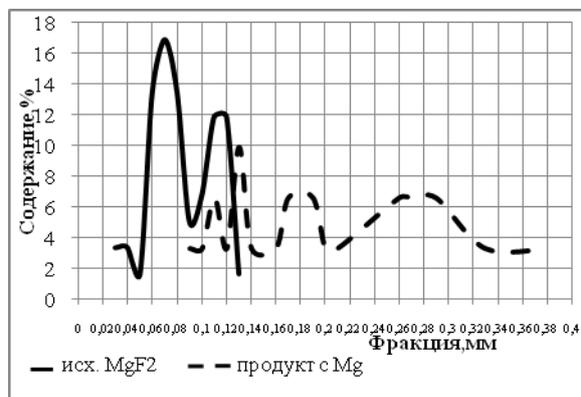


Рис. 1. Микрофотографии продуктов с (а) – Mg; (б) – Ca; (в) – Sr; (г) – Ba

В ходе проведенных экспериментов было замечено, что реакции с Mg и Ba протекают с бурным выделением тепла, сопровождающимся кипением реакционной массы, остальные же реакции проходят без каких-либо выраженных эффектов.

Так же интересно отметить реакцию с Ba, в ходе которой почти мгновенно образуются крупные кристаллы  $\text{Ba}(\text{BrF}_4)_2$ , чего не наблюдается в ходе остальных реакций. Образование крупных агломератов видно из микрофотографии на рис.1. Образцы, полученные по реакциям с Mg и Sr, проявляют гораздо более слабую склонность в агрегатобразованию, присутствует третья фаза непрореагировавшего  $\text{BrF}_3$ . Образование первых агломератов проявляется на 7-е сутки контакта  $\text{MgF}_2$  и  $\text{SrF}_2$  с  $\text{BrF}_3$ . Образец, полученный по реакции с Ca, в течение семи суток не проявил склонности к образованию агломератов, отмечено присутствие фазы непрореагировавшего трифторида брома.

Следующим шагом стал анализ изменения гранулометрического состава исходной и конечной твердой фракции. Замеры производились путем сравнения микрофотографий исходного порошка фторида металла и полученного продукта. Результаты для Mg и Ca представлены на рис.3. Результаты показали, что укрупнение фракции коррелирует со степенью превращения продуктов. Наибольшее укрупнение произошло в процесса синтеза тетрафторобромата бария. Это указывает на склонность реакции к протеканию.



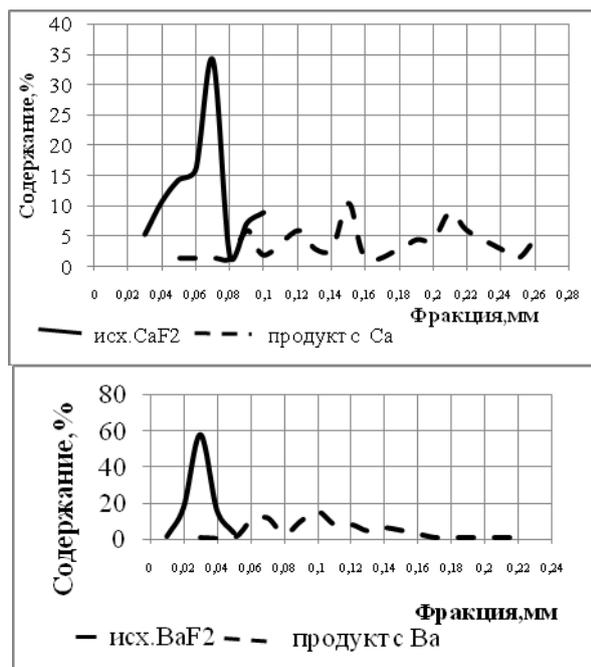


Рис.3. Распределение гранулометрического состава тетрафтороброматов Mg, Ca, Ba

Таким образом, можно предположить, что наиболее полно протекает реакция с участием фторида бария, тогда как остальные процессы протекают гораздо более медленно.

Следующим шагом стал полноценный TGA/DSC анализ полученных соединений. Для Mg, Ca, Sr кривые потери массы и теплового потока представляют собой практически линейную зависимость, без каких-либо характеристических пиков, в отличие от продукта с барием. По дериватограмме, представленной на рис.2 видно, что резкая потеря массы в районе 200 °С сопряжена со значительным эндотермическим эффектом. Это можно объяснить инконгруэнтным плавлением (плавлением с разложением) [3] полученного тетрафторобромата бария  $Ba(BrF_4)_2$ . Далее процесс потери массы происходил без каких-либо колебаний.

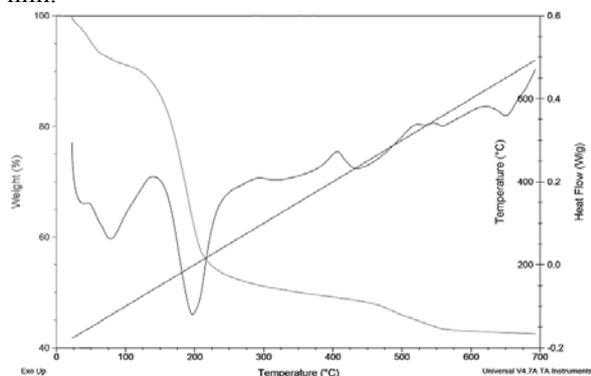


Рис. 2. Дериватограмма твердого продукта взаи-

модействия  $BaF_2$  с  $BrF_3$

Далее был проведен РФА полученного тетрафторобромата бария. На рисунке 4 представлены данные РФА, красным отмечены пики фторида бария. Нераспознанные пики косвенно свидетельствуют о получении вещества, отсутствующего в базе данных. Что косвенно свидетельствует об образовании ТФББ.

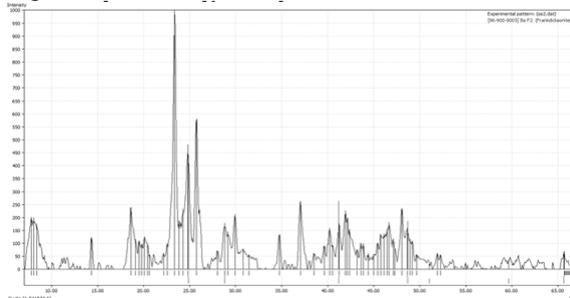


Рис. 4. Результат РФА продукта взаимодействия  $BaF_2$  с  $BrF_3$

Таким образом, в результате проведенных исследований, можно предположить, что наиболее полно протекает реакция с участием фторида бария, тогда как остальные процессы протекают гораздо более медленно. Наиболее стабильное соединение – тетрафторобромат бария. Использование тетрафторобромата бария представляется перспективным в области фторорганического синтеза, где особую ценность имеют безопасные в обращении фторирующие агенты, а так же для производства высококачественных оптических линз.

#### Список литературы:

1. Митькин В.Н., Шавинский Б.М., Камелин А.И. Извлечение примесей редкоземельных элементов из оксида урана с помощью трифторида брома для их концентрирования и аналитического определения. // Журнал аналитической химии. 2000. т. 55. № 3. С. 286-288.
2. Шагалов В.В. Дисс. Физико-химические основы синтеза тетрафторобромата калия. канд.хим.наук. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2010. 148 с.
3. Sharpe A. G., Emeleus H. J. Chemistry of the Inter-halogen compounds. Part I. The Reaction of Bromine Trifluoride with Metallic Halides // J. Chem. Soc. 1948. – p. 2135.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫГОРАЮЩЕГО ГАДОЛИНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ

Соколовская Е.А.

Научный руководитель: Силаев М.Е., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [sea@tpu.ru](mailto:sea@tpu.ru)

Одним из важных элементов работы в области ядерной криминалистики по расследованию случаев незаконного оборота ядерных или радиоактивных материалов (НОЯМ), а также одним из инструментов гарантий МАГАТЭ, является экспертно-технический анализ таких материалов с целью выяснения их истории и происхождения. В ходе такого анализа проводятся измерения физических, химических, элементных и изотопных характеристик исследуемого материала. Комбинации этих характеристик могут служить атрибутивными признаками материала, то есть указывать на его возможное происхождение или технологии изготовления. Таким образом, исследования, направленные на повышение количества и качества атрибутивных признаков, очень важны с точки зрения гарантий МАГАТЭ и борьбы с НОЯМ [1].

В данной работе была проведена оценка возможности использования выгорающего гадолиния в качестве атрибутивного признака для ядерного топлива легководных реакторов.

Гадолий (Gd) имеет уникальные свойства, связанные с высоким сечением поглощения нейтронов и скоростью выгорания, близкой (при оптимальном составе) к скорости выгорания  $^{235}\text{U}$ . Также Gd обладает хорошей совместимостью с  $\text{UO}_2$ , а при его облучении не возникают дочерние продукты с высоким сечением захвата тепловых нейтронов. Эти свойства, необходимые для выбора элемента в качестве выгорающего поглотителя, делают гадолий самым распространенным элементом, который интегрируется в форме оксида ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) в топливо легководных реакторов [2].

Для выявления возможности использования гадолиния в качестве атрибутивного признака были рассмотрены все технологические этапы (стадии ядерного топливного цикла) обращения с ним, начиная с изготовления ядерного топлива и заканчивая переработкой и хранением (рис. 1).

В результате чего было установлено, что на этапе хранения отработанного топлива атрибутивные признаки, связанные с гадолинием постепенно исчезают, а на этапе его переработки стираются полностью, вследствие его экстракции.

На этапе изготовления уран-гадолиниевое ( $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ ) топлива возможно использование физико-химических характеристик топливных таблеток (таких как геометрические параметры, плотность, морфологические признаки) для установления производителя путем их сравнения с известными характеристиками.



Рис. 1. Технологические этапы обращения с уран-гадолиниевым топливом

На сегодняшний день, сравнительный анализ топливной таблетки неизвестного происхождения можно провести с помощью специальной базы данных с информацией о свежем ядерном топливе, используемом в Европе и странах СНГ. Две копии этой базы данных установлены в Институте трансураниевых элементов (ITU), Карлсруэ и во Всероссийском научно-исследовательском институте неорганических материалов имени А.А. Бочвара (ВНИИИМ), Москва. База данных содержит информацию о поставщиках топлива, характерные для них предельные значения и реальные диапазоны изменения изотопного и примесного содержания, типичное распределение параметров микроструктуры, аналитические методы и оборудование, используемые для обнаружения характерных признаков и особенностей ядерного материала [3]. На сегодняшний момент времени база данных является конфиденциальной.

На основании изменения изотопного состава гадолиния во время облучения  $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$  топлива потенциально возможно установить ряд связанных с этим процессом параметров: степень выгорания топлива, время «остывания» топлива после облучения, продолжительность облучения топлива, начальная концентрация  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  в облученном топливе. В работе была проведена оценка практической возможности установления указанных параметров, а также разработаны методические подходы для их определения.

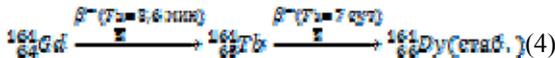
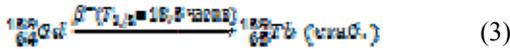
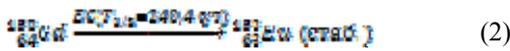
Степень выгорания  $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$  топлива примерно может быть определена по значениям изотопных соотношений  $^{155}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$  и  $^{157}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$  (таблица 1). Но рассматриваемые соотношения могут использоваться только в ограниченном интервале выгорания 0–15 ГВт·сут/к.т. (0–13,6 МВт·сут/кг) [4].

Таблица 1. Значение соотношений  $^{155}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$  и  $^{157}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$  от степени выгорания топлива

Выг-ие, ГВт·сут/к.т.	$^{155}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$	$^{157}\text{Gd}/^{160}\text{Gd}$
0	0,78571	0,78571
2,5	0,48571	0,21429
5	0,21429	0,07714
7,5	0,08571	0,00571
10	0,00971	0,00054
12,5	0,00086	0,00047
16	0,00043	0,00046
20	0,00043	0,00046
30	0,00043	0,00044

Время «остывания» топлива, под которым понимается время его нахождения вне активной зоны реактора, может быть определено с помощью (1), где  $R_{\text{д/р}}$  - отношение концентрации стабильного нуклида к его родительскому изотопу. В данном случае могут использоваться изотопные соотношения Gd с европием, тербием и диспрозием ( $^{153}\text{Eu}/^{153}\text{Gd}$ ,  $^{159}\text{Tb}/^{159}\text{Gd}$  и  $^{161}\text{Dy}/^{161}\text{Tb}$ ), образующихся в ходе ядерных превращений исходной изотопной композиции Gd (2-4):

$$t = \frac{\ln(R_{\text{д/р}})}{\lambda} \quad (1)$$



Для определения возможности использования указанных изотопных отношений в качестве атрибутивных признаков была разработана математическая модель в системе MathCAD, учитывающая изменение изотопного состава Gd и накопление его дочерних нуклидов. В модели использовались начальные условия, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Начальные условия для расчетной модели в системе MathCAD

Параметр	Значение
Время облучения	$1,261 \cdot 10^8 \text{ с}$
Количество разбиений	100 000
Поток теп. нейтронов, $\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{13}$
Поток быст. нейтронов, $\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$3 \cdot 10^{14}$
Плотность таблетки, $\text{г}/\text{см}^3$	10,52
Концентрация $\text{Gd}_2\text{O}_3$ в таблетке, %	5
Массовая доля Gd в таблетке	0,043

На основании результатов расчетов, выполненных с помощью модели, был сделан вывод о том, что рассматриваемые нуклиды не могут использоваться для определения времени «остывания» топлива, так как либо выгорают, либо распадаются вовремя облучения.

Однако расчетным путем было установлено, что для определения продолжительности облучения и начальной концентрации  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  топливе может использоваться накапливаемый во время облучения стабильный изотоп  $^{159}\text{Tb}$ .

Определение продолжительности облучения топлива может быть выполнено по соотношению изотопов  $^{159}\text{Tb}/^{158}\text{Gd}$ . Однако было установлено, что практическое определение этого параметра является сложно выполнимой задачей, так как для этого необходимо иметь предварительную информацию о всех параметрах облучения (спектральных, временных, мощностных и т.д.). Поэтому, возможность использования рассматриваемого соотношения для определения продолжительности облучения маловероятна.

По концентрации  $^{159}\text{Tb}$  в облученном  $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$  топливе возможно определить нижнее предельное значение исходной концентрации оксида гадолиния в топливной таблетке. Этот параметр может использоваться в качестве характеристики свежей уран-гадолиниевой таблетки для установления типа реактора.

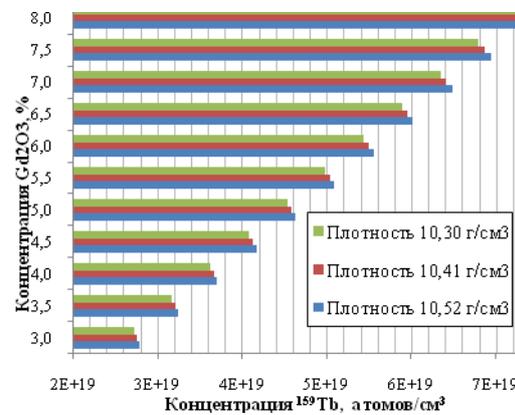


Рис. 2. Зависимость концентрации  $^{159}\text{Tb}$  в облученном топливе от начальной концентрации  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  в таблетке и ее плотности

Таким образом, в данной работе проведена оценка возможности использования различных соотношений изотопов гадолиния и его дочерних нуклидов в качестве атрибутивных признаков при анализе ядерного топлива легководных реакторов. Установлено, что такое использование соотношений изотопов гадолиния возможно в ограниченных пределах.

**Список источников:**

1. IAEA Nuclear Security Series No. 2, Technical Guidance, 'Nuclear Forensics Support', Reference Manual, IAEA, VIENNA.
2. Аль Давахра Сааду. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР. МИФИ, Москва, 2006.
3. Yu. Dolgov, et.al. Installation of a Database for Identification of Nuclear Material of Unknown Origin at VNIINM Moscow. Proceedings of the 20<sup>th</sup> ESARDA Annual Meeting, Seville, 1998.
4. United States Patent. Nuclear fuel containing gadolinium. Patent Number: 5,524,033. Date of Patent: Jun. 4, 1996.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРОБОЯ ПРЕССОВАННЫХ ПОРОШКОВ ТЭНА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ

М. К. Тогайбаев

Научный руководитель В. П. Ципилев, проф., д.ф.-м.н.  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [marananotenok@inbox.ru](mailto:marananotenok@inbox.ru)

Широко известно разрушающее действие высокоинтенсивных лазерных пучков на оптически прозрачные среды. Их разрушению приписывают возникновение в среде оптического пробоя. Принимая в расчет общепринятые представления о тепловом взрыве, то определение порогов оптического пробоя позволит оценивать перспективность работ по определению чувствительности взрывчатых веществ (ВВ) к лазерному излучению.

Обычно критерием реализации оптического пробоя является, исходя из анализа литературы, наличие каверн, трещин или других разрушений и появление интенсивной вспышки свечения. Канал оптического пробоя представляет собой короткоживущий микроразряд с высокой плотностью тока, которому, присуща высокая температура, т.е. канал пробоя теоретически может играть роль микроочага, из которого начнется инициирование.

На основании результатов [1] авторы отвели оптическому макропробую решающую роль в механизме лазерного импульсного инициирования прессованных порошков ВВ.

При этом порог макропробоя по данным авторов [1] составляет около  $10 \text{ Дж/см}^2$ , а порог инициирования взрывного разложения – около  $20 \text{ Дж/см}^2$ . По данным работы [2] порог инициирования в некоторых условиях лазерного воздействия может быть снижен до уровня около  $0,1 \text{ Дж/см}^2$ . Очевидно, что реализация режима макропробоя в образце в данном случае не возможна, поэтому авторы высказали предположение о возможности создания тепловых очагов инициирования в областях микропробоев. С этой целью ими исследовано свечение образцов тетранитратапентаэритрита (тэна) в области низких уровней лазерного воздействия, определен порог свечения (около  $10 \text{ мДж/см}^2$ ) и сделана попытка связать его с порогом микропробоев. Однако для достаточного доказательства такой связи необходимо изучение поведения образцов, как при низких уровнях воздействия, так и при уровнях превышающих пороги макропробоя, а также получение и анализ спектров свечения.

В данной работе исследован оптический пробой прессованного порошка тэна при воздействии импульсом лазерного в области прозрачности излучения первой и второй гармоники Nd:YAG-лазера с длиной волны  $1064 \text{ нм}$  и  $532 \text{ нм}$  соответственно и длительностью импульса  $12 \text{ нс}$  в широком диапазоне плотностей энергии лазерного излучения. Структура пучка: многомодовая с однородной центральной частью. Влияние длины волны лазерного излучения на энергетические пороги инициирования (ЭПИ) должно проявляться через

основные оптические константы вещества, а именно через показатель поглощения, показатель рассеяния, показатель преломления. Регулируя длину волны лазерного излучения, можно изменять эти константы в больших пределах и создавать различные режимы освещения объема ВВ. Всё это может приводить к нагреванию поверхностного слоя. Также стоит учесть и энергию фотона (кванта). Можно предположить, что эти особенности в полной мере должны проявляться при инициировании в области собственного поглощения, поскольку излучение за счет высокого показателя поглощения, локализуется в очень тонком приповерхностном слое. Кроме того, поглощенная доза в слое распределена по закону Бугера, т.е. в отличие от области прозрачности, где этот закон для порошков не выполняется, энерговыделение имеет максимальное значение на поверхности ВВ.

В исследованиях использован лазерный стенд, который является модернизированным вариантом установки, описанной в [3]. Стенд обеспечивает проведение многопараметрических измерений процессов, сопровождающих взрывное разложение.

Прессованные порошки изготавливались в виде таблеток при плотности  $1,4 \text{ г/см}^3$  и давлением прессования  $40 \text{ МПа}$ . Плотность энергии пучка на поверхности таблеток менялось с помощью калиброванных нейтральных светофильтров.

В результате проведенных исследований были получены зависимости амплитуды импульсов свечения от плотности энергии лазерного излучения на поверхности образца (см. рис. 1) при воздействии на длинах волн  $\lambda_0 = 1064 \text{ нм}$  (кривая 1) и  $\lambda_0 = 532 \text{ нм}$  (кривая 2). Спектры свечения образцов приведены на рис. 2.

Видно, что при воздействии первой гармоникой измеренный порог свечения на уровне надежного регистрируемого сигнала фотодетектора (ФЭУ фирмы «Hamamatsu») составил около  $1 \text{ мДж/см}^2$ . С увеличением свечения резко (нелинейно) нарастает.

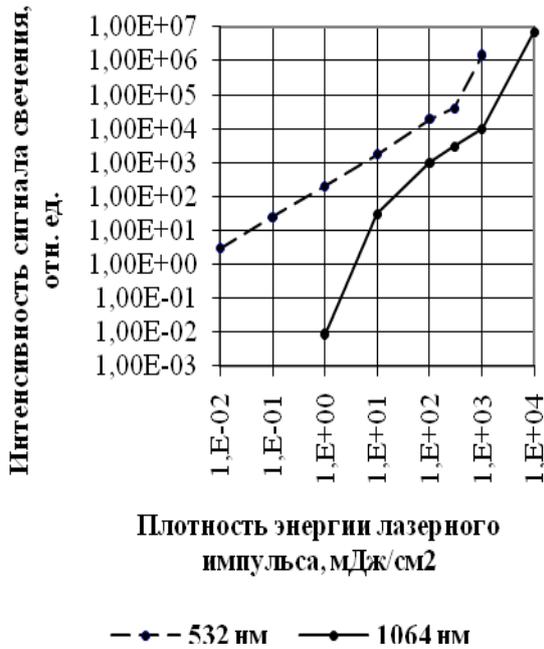


Рис. 1. Зависимость интенсивности свечения от плотности возбуждающего ЛИ

При энергиях свыше 1 Дж/см<sup>2</sup> было обнаружено повреждение поверхности образца в зоне воздействия лазерного излучения, наблюдался плазменный факел и характерный звуковой щелчок, что свидетельствует о возникновении микропробоя. При уменьшении уровня лазерного воздействия интенсивность свечения монотонно снижалась до некоторой пороговой величины воздействия. На 2-ой гармонике порог свечения был на несколько порядков более низким, чем на 1-ой гармонике.

Показано, что пороговая плотность энергии прессованных порошков при иницировании с открытой поверхностью порядка нескольких миллиджоулей на квадратный сантиметр. Таким образом, в области прозрачности матрицы ВВ можно говорить о низкороговом иницировании. Регулируя длину волны лазерного излучения, можно менять оптические константы вещества и создавать различные режимы освещения объема ВВ. Так, при переходе от первой к второй гармонике облучения значение показателя поглощения изменяются, глубина проникновения лазерного пучка также меняется. Всё это может приводить к нагреванию поверхности слоя, макро- или микрообласти объема, созданию оптического пробоя.

Анализ кривой 1 рис. 1 и кривой 1 рис. 2 указывает на то, что в области воздействий от 1 до 100 мДж/см<sup>2</sup> в объеме порошка тэна возможно реализуется режим оптических микропробоев, а в области  $H > 1 \text{ Дж/см}^2$  – режим макропробоя. Наличие микропробоев указывает на возможность создания локальных тепловых микроочагов в объеме

тэна при очень низких уровнях лазерного воздействия.

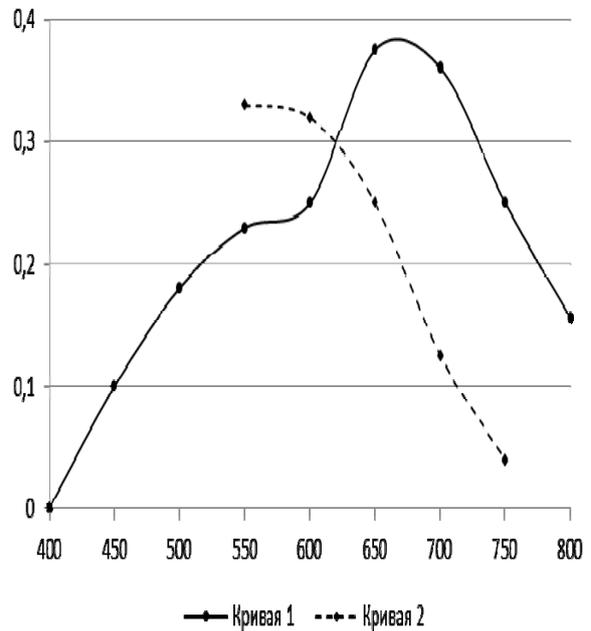


Рис. 2. Спектр свечения тэна при облучении на длине волны ЛИ  $\lambda_0 = 1064 \text{ нм}$  (кривая 1) и  $\lambda_0 = 532 \text{ нм}$  (кривая 2)

При воздействии второй гармоникой наблюдается совсем другая ситуация.

Таким образом, можно утверждать следующее: пороги оптических микропробоев при воздействии ЛИ составляют единицы мДж/см<sup>2</sup>, т.е. находятся ниже измеренных в [2] порогов иницирования взрывного разложения тэна. А это означает, что в основе механизма лазерного иницирования ВВ лежит создание тепловых очагов в результате возникновения оптического микропробоя.

#### Список литературы:

1. В. И. Таржанов и др. Лазерное воздействие на пористое ВВ // ФГВ. — 1991. — Т. 27, № 2. с. 97–101.
2. В.П. Ципилев, Е.Ю. Морозова, А.С. Скрипин. Лазерное иницирование пороков тэна в условиях объемного сжатия // Известия ТПУ – 2010. – Т.317, №4.с.149 – 155.
3. В. И. Корепанов, В. М. Лисицын, В. И. Олешко, В. П. Ципилев. К вопросу о кинетике и механизме взрывного разложения азидов тяжелых металлов // ФГВ. — 2006. — Т. 42, № 1. с. 106–119

## ОЦЕНКА РИСКОВ И УГРОЗ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ПАТЭС

Халявин И.В.

Научный руководитель: Демянюк Д.Г., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [khalyaviniv@gmail.com](mailto:khalyaviniv@gmail.com)

По данным ООН в ближайшие 20 лет потребление энергии в мире вырастит на 40%. Увеличение потребления энергии является неизбежной частью экономического развития стран. Атомная энергетика является наиболее перспективным и незаменимым источником энергии. В настоящее время 16% от всей вырабатываемой мировой энергии приходится на нее. По данным МАГАТЭ в ближайшие 15-20 лет ее доля составит 30%.

В процессе развития атомной энергетики, все чаще будет подниматься вопрос о нераспространении ядерных материалов и технологий двойного назначения. Решением проблемы энергоснабжения и нераспространения может стать предложенный РФ проект по строительству плавучих атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС).

В настоящее время ПАТЭС относится к числу инновационных проектов российской энергетики в целом и атомной энергетики в частности. Ввод в эксплуатацию головного блока ПАТЭС, намеченный на 2014г. открывает для России новое перспективное направление для экспорта. Проект ПАТЭС позволяет российской атомной промышленности предлагать зарубежным заказчикам уникальную технологию в сегменте реакторов малой и средней мощности. ПАТЭС могут экспортировать в первую очередь в страны с развитой береговой инфраструктурой. Плавучая АЭС также может быть использована в качестве энергоустановки в процессе опреснения воды. С учетом большого спроса на опреснение воды в странах Персидского залива, плавучий атомный энергоблок может быть особенно востребован в этом регионе.

После событий на АЭС «Фукусима» и ужесточения международных стандартов в области ядерной безопасности, проект требует дополнительного рассмотрения на предмет соответствия новым требованиям. Стоит отметить, что еще до событий на «Фукусима», проект ПАТЭС был разработан с учетом эксплуатации в зонах возможных землетрясений и цунами. Воздействие волн в случае цунами рассчитывалось математически и физически – в специальных бассейнах, где с помощью специальной установки моделировались волновые воздействия различной силы. Кроме того, для провидения нового проекта на международный рынок России нужны партнеры, имеющие опыт в области атомной энергетики и безупречную репутацию в области ядерной безопасности. Также для продвижения ПАТЭС на мировой рынок требуется проведение системной работы по укреплению статуса проекта как не представляющего угрозы режиму ядерного нераспространения и ядерной безопасности.

ПАТЭС представляет собой несамостоятельную плавучую платформу, на которой размещены две реакторные установки КЛТ-40С, общей электрической мощностью 70МВт. В качестве топлива будет использоваться U235 с обогащением порядка 20%. Одно из главных преимуществ плавучей электростанции заключается не только в ее мобильности, но и в себестоимости 1кВт/час, которая составляет 1,5-2 рубля. Общая стоимость проекта на данный момент составляет примерно 9млрд рублей.[1, 3]

Выгрузка отработанного топлива из реактора происходит после трех лет работы. Затем производится загрузка свежего топлива. Станция имеет возможность заменить топливо, не покидая место расположения, четыре раза. Через 10-12 лет ПАТЭС подлежит доковому ремонту. Ее отбуксируют на судостроительное предприятие, где выгрузят отработанное топливо, которое хранится на борту. Пока станция находится на ремонте, ее будет заменять запасная ПАТЭС, в случае, если контракт будет рассчитан на более долгий срок, чем непрерывная эксплуатация ПАТЭС.

Решением вопроса нераспространения являются условия эксплуатации ПАТЭС в других странах: 1. Плавучий энергоблок остается в собственности России, сменных экипаж-вахта российский. Потребителю продается электроэнергия, тепло, пресная вода на основе долгосрочного договора. 2. Вместе с плавучим энергоблоком по истечению срока его эксплуатации в Россию возвращаются и все ядерные материалы.[1]

В список стран потенциальных покупателей ПАТЭС входят: Китай, Индонезия, Канада, страны Юго-Восточной Азии, страны Ближнего Востока и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Проведя подробный анализ предполагаемых мест эксплуатации, пришел к выводу, что такие страны как Индонезия, Малайзия и Пакистан представляют особый риск. Об этом так же свидетельствует доклад Национального антитеррористического центра США, по данным которого 40% террористических актов произошло в странах Ближнего и Среднего Востока. В Азиатско-Тихоокеанском регионе замечено снижение числа терактов, но уровень террористической угрозы остается высоким.[4]

Из всего выше сказанного следует, что построение и обеспечение физической защиты (ФЗ) ПАТЭС является первостепенной задачей.[3]

На данный момент времени были проведены необходимые мероприятия для построения системы физической защиты (СФЗ):

1. Изучение документов и составление нормативно-правовой базы в области обеспе-

чения физической защиты ядерно-опасных объектов. В нее вошли не только международные договоры, но и законы, приказы, постановления России.

2. Анализ ПАТЭС. В результате анализа были выявлены основные параметры баржи и реакторной установки. Установлено деление судна по отсекам и его конструктивные особенности.
3. Анализ угроз для ПАТЭС. Был проведен анализ террористической угрозы, в результате чего составлены две проектные угрозы:
  - I проектная угроза – захват пиратами, террористами судна и экипажа (в качестве заложников) с целью незаконного присвоения ЯМ (РАО) для их последующего несанкционированного использования;
  - II проектная угроза – диверсия с использованием взрывчатых веществ или тяжелого механического воздействия с помощью другого самоходного судна.
1. Выбор оборудования и построение модели СФЗ. Все выбранное оборудование является стандартным и успешно используется на многих ядерных объектах России.
2. Проектирование системы физической защиты. В процессе проектирования СФЗ были решены вопросы зонирования и взаимодействия всей системы как на суше, так и на воде.

Необходимо добиться того, чтобы созданная модель СФЗ удовлетворяла всем мировым и российским требованиям. Была эффективной против существующих и возможных в будущем угроз в отношении ядерных объектов и ядерных материалов.

По завершению этапа проектирования системы физической защиты, необходимо будет произвести оценку эффективности для выявления и устранения недочетов. Для этого планируется использовать модель EASI, разработанную Сандийскими национальными лабораториями в США.

В официальных источниках, не было ни какой информации, о предполагаемой стоимости СФЗ для ПАТЭС. Как известно, ее стоимость может достигать 30% и более от общей стоимости

объекта. В связи с этим необходимо будет провести оценку экономической целесообразности разработанной системы. В связи с этим, возможно будет предложено несколько вариантов СФЗ с различной стоимостью, но примерно с одинаковой оценкой эффективности. Достичь данного результата планируется за счет использования более multifunctional средств охраны.

На сегодняшний день, открытым остается вопрос, связанный с военизированной охраной в СФЗ. Не определено с чьей стороны будут обеспечиваться силы вооруженной охраны. В случае, если вооруженная охрана будет российской, то это автоматически повышает стоимость СФЗ и срезует же возникает правовой вопрос присутствия вооруженных сил на территории другого государства.

Таким образом, ввиду отсутствия наличия альтернативного источника энергии, способного заменить атомную, потребность в ее существовании будет сохраняться на протяжении многих десятилетий. Строительство плавучих атомных тепловых электростанций является одним из перспективных направлений развития энергетики в целом. При помощи ПАТЭС будут решаться не только такие глобальные проблемы, связанные с нераспространением ядерных материалов и технологий двойного назначения, но и вопросы с обеспечением электроэнергией. В таком случае, на сегодняшний день анализ и оценка рисков, угроз и построение системы физической защиты является первоочередной задачей.

#### Примечания:

1. «С видом на продажу» [Электронный ресурс] – режим доступа:

<http://www.rg.ru/2009/04/22/lomonosov.html>

«Плавучие атомные электростанции: анализ физической безопасности в условиях экспорта» [Электронный ресурс]

<http://www.polarlights.ru/ru/theses/read/mnultm:thesises/catId:18/thesisId:93/#>

«Экономическая целесообразность ПАТЭС» [Электронный ресурс] – режим доступа:

[http://www.rosenergoatom.ru/rus/development/floatimg\\_npp/economic/](http://www.rosenergoatom.ru/rus/development/floatimg_npp/economic/)

«Saudi on trial for Jakarta bombings» [Электронный ресурс] – режим доступа:

<http://english.aljazeera.net/news/asia-pacific/2010/02/20102247284344906.html>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Черепенников Ю.М.

Научный руководитель: Гоголев А.С., к.ф.-м. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [che@scalpnet.ru](mailto:che@scalpnet.ru)

В настоящее время рентгеновское излучение (РИ) находит широкое применение в прикладных задачах, таких как диагностика в медицине, биологии, анализ структуры вещества и др. Основным источником РИ на данный момент являются рентгеновская трубка, спектр которой представляет собой сумму линий характеристического и сплошного тормозного излучения. Из-за тормозного излучения (ТИ) традиционная диагностика с использованием рентгеновских трубок сталкивается с проблемами, низкого качества изображений и значительной дозовой нагрузки на пациента. Использование монохроматических пучков РИ позволяет устранить указанные недостатки.

В данной работе проведены моделирование и расчет основных характеристик источника монохроматического рентгеновского излучения и разработка рекомендаций по его реализации. В работе определены оптимальные параметры мишени для генерации ТИ электронами с энергией порядка нескольких МэВ в диапазоне необходимом для медицинской диагностики от 10 до 100 кэВ, сделаны количественные оценки интенсивности пучков РИ от разных типов ускорителей, проведены эксперименты по монохроматизации ТИ на монохроматорах со сверхрешеткой инициированной акустической волной, а также приведено обоснование преимуществ использования пучков МРИ в медицинской диагностике и проведены оценки возможного снижения дозовой нагрузки и повышения качества изображений в случае применения МРИ.

Для количественных расчетов была разработана модель генерации РИ электронным пучком в различных мишенях с использованием пакета программирования GEANT4.

В качестве мишени-конвертора в модели использовались пластины из различных материалов и толщин. На конвертор падает пучок электронов с энергиями 4-18 МэВ, который рождает в ней поток РИ. Детектор с поперечными размерами 1×1 мм установлен на расстоянии 100 мм, средний телесный угол  $\Delta\Omega = 8 \cdot 10^{-6}$  ср, регистрирует все фотоны. Воздух из рассматриваемой области откачан. Задача состоит в моделировании спектров фотонов и последующее их сравнение, при разных исходных данных.

Моделирование проводилось для электронов с энергиями 4, 6, 8, 10, 18 МэВ, для мишеней из материалов *C*, *Al*, *Cu*, *Mo*, *W* и толщин (от 10 до 3000 мкм) со статистикой  $10^8$  электронов. По результатам моделирования были выбраны оптимальные толщины мишеней из различных материалов для получения наибольшего выхода рентгеновского излучения с энергиями в заданном диапазоне

(максимум в районе 35 кэВ). Как показало моделирование, оптимальные толщины не зависят от энергии электронов в выбранном диапазоне, а наибольший выход излучения с интересующей нас энергией дают конверторы из легких материалов (углерод и алюминий).

Поскольку оптимальные толщины мишеней не зависят от энергии электронов, существует возможность свободно выбирать энергию электронов для источника РИ, что позволяет оптимизировать параметры ускорителя, руководствуясь в т.ч. требованиями компактности, что, несомненно, является важным условием. Также стоит отметить тот факт, что понижение энергии электронов снижает долю жесткой части РИ, что позволяет снизить требования к биологической защите. Исходя из этого, предлагается использовать ускорители электронов на энергию от 6 до 10 МэВ.

Далее следует выбрать тип ускорителя, который можно использовать в качестве источника ускоренных электронов. Ясно, что главным условием при выборе ускорителя будет требование к интенсивности рентгеновского излучения, а она будет зависеть от тока электронного пучка, который может обеспечить тот или иной вид ускорителя. Кроме того, имеет смысл сравнить интенсивности, которые можно получить от разных ускорителей с интенсивностью, получаемой от рентгеновской трубки. В качестве параметра сравнения выберем освещенность, которую дает источник на расстоянии 1 м. Известно, что для получения качественных рентгеновских снимков требуется освещенность  $10^7$  фотонов/см<sup>2</sup>. Для оценки интенсивности источника МРИ необходимо определить ширину линии излучения, которую будет обеспечивать источник. Эта ширина определяется механизмом дифракции и составляет порядка 10 эВ. Рентгеновские трубки обеспечивают освещенность порядка  $10^4$  фотонов/(с см<sup>2</sup> мА) при данной ширине линии[1]. В то же время полученные при моделировании спектры, позволяют говорить, что источник РИ на основе ускорителя электронов на энергию 6 МэВ обеспечивает освещенность  $10^8$  фотонов/(с см<sup>2</sup> мА). Рассмотрим в качестве возможных вариантов ускорителя бетатрон, микротрон и линейный ускоритель. Сравнительные параметры приведены в таблице 1.

Согласно результатам из таблицы 1 создание источника РИ на основе ТИ от электронов высокой энергии (в частности 6 МэВ) обладающего высокой по сравнению с рентгеновской трубкой интенсивностью возможно, только если использовать в качестве источника электронов микротрон или линейный ускоритель (ЛУЭ).

Таблица 1. Параметры источников РИ

Тип источника	Освещенность ф/(с см <sup>2</sup> мА)	Ток, мА	Освещенность ф/(с см <sup>2</sup> )
Рентгеновская трубка	10 <sup>4</sup>	10	10 <sup>5</sup>
Бетатрон	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>4</sup>
Микротрон	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>7</sup>
ЛУЭ	10 <sup>8</sup>	10	10 <sup>9</sup>

Использование бетатрона не обеспечивает необходимой интенсивности вследствие низкого значения тока. Кроме того, использование ЛУЭ или микротрона позволяет осуществлять, благодаря чему яркость источника может достигать значений 10<sup>10</sup> фотонов/(с мм<sup>2</sup> мрад<sup>2</sup>) при ширине линии 10 эВ, что на 2-3 порядка превышает яркости рентгеновских трубок [2].

Увеличение интенсивности при использовании в качестве монохроматоров адаптивной рентгеновской оптики наблюдалось экспериментально. Эксперименты проводились с использованием кристаллов кварца X-среза толщиной: 0,3; 0,65; 0,9 мм. На поверхность кристаллов было нанесено алюминиевое напыление, необходимое для более эффективного возбуждения акустического поля в кристалле. Исследовалось отражение от атомных плоскостей, ориентированных перпендикулярно к большой поверхности кристалла (10-11).

В ходе экспериментов сначала определялась резонансная частота э/м-воздействия на монохроматор, при которой наблюдается максимальное увеличение интенсивности дифрагированного излучения. Затем снимались зависимости интенсивности излучения от величины амплитуды э/м-воздействия. При оптимальных значениях частоты и амплитуды снимались энергетические спектры дифрагированного излучения. Как показали эксперименты, при возбуждении кристалла поток РИ в направлении дифракции увеличивается до 5,3. Таким образом, было наглядно продемонстрировано преимущество использования адаптивной рентгеновской оптики.

Оценки уровней повышения качества изображений и снижения дозовых нагрузок проводились на примере сравнения таких характеристик как контраст изображения, соотношение сигнал/шум в канале детектора и эквивалентной дозы получаемой объектом исследования в модельном эксперименте в случаях применения МРИ и сплошного спектра рентгеновской трубки.

Учитывая, что ткани человека в основном состоят из воды, проведем сравнение качества изображения при регистрации изображения “фантома” 10 см воды, в котором имеется полость размером 1x1x1 мм.

Таблица 2. Формулы для расчета характеристик сравнения

Монохроматическое РИ	Сплошной спектр	
$K = \frac{J_2 - J_1}{J_1} = \frac{N_2 - N_1}{N_1}$		Контраст
$SNR = \frac{N_2 - N_1}{\sqrt{N_1}}$	$SNR = \frac{\sum_E (N_2(E) - N_1(E))}{\sum_E \sqrt{N_1(E)}}$	Сигнал/шум
$H = \frac{(N_0 - N_1) \cdot E}{\rho \cdot V}$	$H = \frac{\sum_{E=0}^{120} (N_0(E) - N_1(E)) \cdot E}{\rho \cdot V}$	Эквивалентная доза

Проведенные оценки доз показали возможность снижения дозы на 30% и увеличение контраста в 1,75 раз при применении МРИ с энергией 35 кэВ (оптимальная для данного эксперимента). Стоит отметить, что выбор оптимальной энергии квантов должен производиться для каждого конкретного типа исследований, и является предметом отдельного изучения.

#### Выводы:

Проведено моделирование спектров тормозного излучения от электронов с энергией 4-18 МэВ при использовании мишеней-конверторов из различных материалов и различных толщин. На базе полученных спектров выбраны оптимальные толщины мишеней-конверторов. Показано что большую интенсивность рентгеновского излучения обеспечивают мишени-конверторы из легких материалов (с малым атомным числом Z).

Эксперименты по монохроматизации пучка наглядно показали преимущества использования активных монохроматоров. В случае использования такого монохроматора наблюдалось увеличение интенсивности в 5,3 раза по сравнению с монохроматором без акустического воздействия.

Сделаны оценки освещенности и яркости источника рентгеновского излучения на базе малогабаритного ускорителя электронов с энергией порядка нескольких МэВ. Подобные источники с успехом можно использовать не только в медицинской диагностике, но и в промышленной томографии и в высокоэнергетическом флуоресцентном анализе.

Показано, что в случае применения МРИ дозовая нагрузка может быть снижена на 30%.

При поддержке ГК ГК №11.519.11.2030.

#### Список литературы:

1. Коваленко Н.В. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://medafarm.ru/php/content.php?id=17252>, свободный.
2. Dynamical theory of X-Ray diffraction / A. Authier – New York: Oxford University Press inc., 2008.

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЕЙ БЕТА - И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ

Черепнев М.С., Яковлева В.С.

Научный руководитель: Яковлева В.С., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

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

**Введение.** Радиационный фон в городской атмосфере оценивают по ряду параметров, важнейшим из которых считается мощность эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения. Однако суммарный радиационный фон городской атмосферы обусловлен не только потоками  $\gamma$ -излучения, но и другими видами ионизирующих излучений (ИИ). Основными источниками атмосферных полей ИИ в городской черте являются поверхностные грунты и строительные материалы, которые использованы в городской застройке.

Многолетние наблюдения [1] за одной из характеристик атмосферного  $\gamma$ -поля – мощностью эквивалентной дозы, показали ее сезонную периодичность, описываемую параболой, с повышением в летний период и понижением в зимнее время с максимальным размахом по отдельным пунктам контроля 0,06 мкЗв/ч. В многофакторном эксперименте [2] были выявлены всплески в атмосферных  $\beta$ - и  $\gamma$ -полях длительностью от нескольких часов до полусуток. Одним из объяснений появления всплесков в атмосферном  $\gamma$ -фоне, предложенным в работе [3], является повышение плотности потока радона с поверхности земли.

**Параметры модели.** В настоящей работе рассмотрен основной источник атмосферных полей ИИ – подстилающий грунт. Влияющие на динамику полей ИИ в точке контроля факторы выбирали исходя из их возможного влияния именно на проникающую способность ионизирующих излучений в системе «поверхностный грунт – приземная атмосфера»: влажность грунта и плотность атмосферы. Моделирование вертикального распределения поглощенных доз и плотностей потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений в приземной атмосфере при различных значениях влажности грунта и плотности атмосферы проведено с помощью метода Монте-Карло.

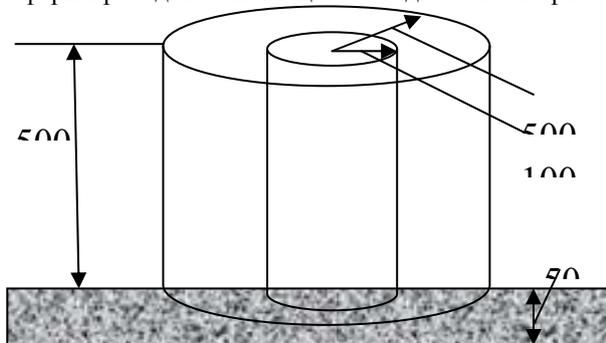


Рисунок 1. Геометрия расчетов

На рисунке 1 представлена геометрия расчетов. Источник (грунт) и поглощающую среду (воздух) задавали в цилиндрической геометрии. Диаметр наружного цилиндра выбран 1 км с учетом проникающей

способности фотонов в воздухе. Для избавления от влияния краевых эффектов на конечный результат, расчеты поглощенной дозы и плотности потока ИИ произведены для внутреннего цилиндра диаметром 200 м. Глубина слоя грунта для расчетов составила 50 см, выбрана с учетом результатов моделирования вкладов от разных слоев грунта в суммарную дозу в атмосфере. Все расчеты произведены до высоты 500 м. При моделировании произведен учет вторичного излучения и каскадный характер взаимодействия излучения с воздухом, учтено отражение излучения от грунта, а также учет векового радиоактивного равновесия между родоначальниками рядов и дочерними продуктами их распада. Моделирование проведено с помощью, разработанной в ТПУ, программой PCLab [4, 5]. С ее помощью рассчитывали вертикальные распределения характеристик полей ИИ для каждого из радионуклидов находившихся в соответствующих рядах  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Для пересчета на реальную удельную активность радионуклидов в грунте, расчеты были получены на единичную активность радионуклидов (1 Бк/кг). За расчетный грунт взяли суглинок, характерный для исследуемой местности, элементный состав приведен в таблице 1. Состав атмосферы брали следующий, указанный в таблице 2.

Таблица 1. Состав грунта для моделирования

Элемент	Атомный номер, Z	Атомная масса, A	Влажность грунта, %		
			0	50	100
			Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>		
			1,3	1,5	1,7
Весовая доля, %					
O	8	16	43,2	49,28	53,95
Si	14	28,09	20,2	17,51	15,45
Al	13	27	14,4	12,48	11,01
C	6	12	10,6	9,19	8,11
Fe	26	55,85	9,2	7,97	7,04
H	1	1,008	1,5	2,79	3,76
Ti	22	47,9	0,7	0,61	0,54
Mg	12	24,37	0,2	0,17	0,15

Таблица 2. Состав атмосферы для моделирования

Элемент	Z	A	Весовая доля, %
H	1	1	$8 \cdot 10^{-5}$
N	7	14	75,5

О	8	16	23,3
Ne	10	20,18	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Ar	18	39,95	1,92
Kr	36	83,8	$3 \cdot 10^{-4}$
Xe	54	131,29	$4 \cdot 10^{-5}$
Rn	86	222,02	$4,5 \cdot 10^{-19}$
Плотность воздуха $1,29 \cdot 10^{-3}$ г/см <sup>3</sup>			

**Результаты.** Изменение отношения доз гамма-излучения  $D_\gamma$ , бета-излучения  $D_\beta$ , создаваемых частично водонасыщенным (50%) и сухим (0%) грунтами с высотой приведено на рис. 2 и рис. 3. Видно, что влажный грунт является хорошим замедлителем  $\gamma$ -излучения. После дождя следует ожидать снижения потока  $\gamma$ -излучения и мощности дозы на 10% на высоте 1 м и на 35% на высоте 25 м. При заполнении пор водой снизится и поток радона и торона в атмосферу, что приведет к снижению суммарной радиоактивности и, следовательно, потоков ИИ.

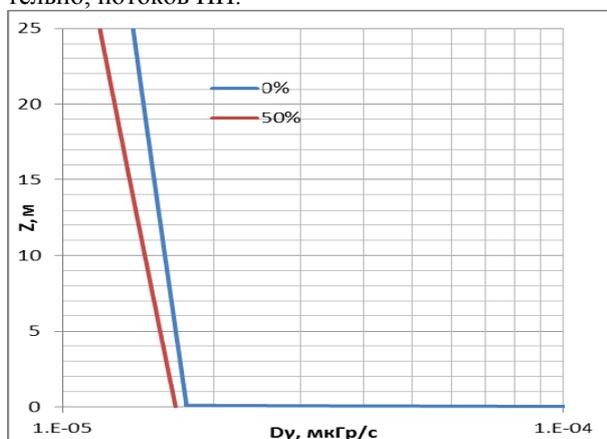


Рисунок 2. Зависимость мощности дозы гамма-излучения от высоты при различной влажности грунта

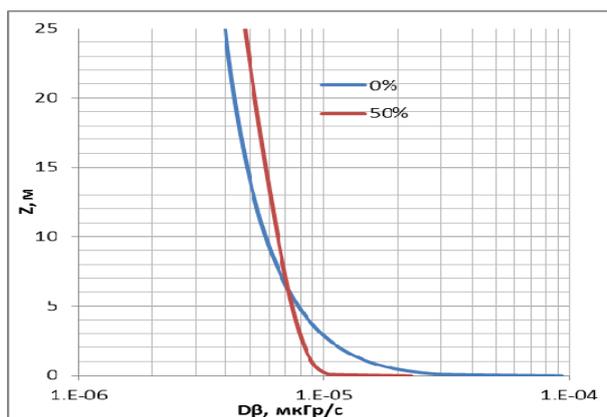


Рисунок 3. Зависимость мощности дозы бета-излучения от высоты при различной влажности грунта

**Заключение.** Расчеты показали, что изменение влажности, при прочих равных факторах окружающей среды, дает ощутимый вклад в изменение как мощности дозы гамма- и бета- излучения, так и потоков гамма- и бета- излучения.

Выполнено при поддержке ФЦП ГК № 02.740.11.0738.

#### Литература:

1. Соболев А.И., Тихомиров В.А., Вербова Л.Ф., Митронова Ю.Н., Жунов И.К. Актуальные проблемы анализа результатов радиационно – экологического мониторинга Москвы // *Фундаментальные исследования*. – 2005. – № 6 – с. 74-75.
2. Нагорский П.М., Ипполитов И.И., Смирнов С.В., Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Лужанчук Я.В., Манаков А.В. Влияние направления воздушного потока на динамику атмосферных полей гамма- и бета-излучений // *Известия вузов. Физика*, 2010. т. 53, № 11/2. С. 51–54.
3. Силантьев К.А. Автоматизированные спектрометрические системы контроля радиационной обстановки. <http://www.atom.nw.ru/atc/obninsk/spektrpost.html>
4. Яковлева В.С., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Фирстов П.П., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Смирнов С.В., Паровик Р.И. Скоординированный многофакторный эксперимент по анализу процессов поступления почвенного радона в приземный слой атмосферы // *АНРИ*. 2009. № 4. С. 55–60.
5. Беспалов В.И. Пакет программ ЕРНСА для статистического моделирования поля излучения фотонов и заряженных частиц // *Изв. вузов Физика. Приложение*. 2000. № 4. С. 159–165.

## ВКЛАД РАДОНА В АТМОСФЕРНЫЕ ПОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Черепнев М.С., Яковлева В.С.

Научный руководитель: Яковлева В.С., к.ф.-м.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30  
E-mail: [maxcherepnev@mail.ru](mailto:maxcherepnev@mail.ru)

Экспериментальные и теоретические исследования пространственной и временной динамики атмосферных полей ионизирующих  $\gamma$ -излучений проводятся не одно десятилетие, и их актуальность обусловлена многогранностью приложений в различных областях знаний. Атмосферные поля ионизирующих излучений (ИИ) являются отражением, как текущего состояния атмосферы, так и состояния системы «литосфера-атмосфера-ионосфера-космос» в целом. Хотя радиационный фон приземной атмосферы складывается разными видами ионизирующего излучения ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и нейтронное излучения), однако, основное внимание сосредоточено только на  $\gamma$ -излучении, что связано с его большой проникающей способностью. Атмосферные поля ИИ представляют особый интерес в таких областях, как радиэкология и радиобиология – для оценок малых (фоновых) доз облучения населения и окружающей среды, а также физика атмосферы – для оценок плотности ионизации приземной атмосферы.

Согласно устоявшемуся мнению, атмосферный радон (его изотопы и дочерние продукты распада (ДПР)) влияет на атмосферные поля ИИ и представляет собой источник «вариативной» компоненты, а почвенные радионуклиды – источник «постоянной» компоненты атмосферных полей излучений. При этом вклад различных природных источников ИИ в суммарные атмосферные поля никем детально не прорабатывался.

Целью настоящей работы являлось численное исследование вкладов атмосферных и почвенных радионуклидов в суммарные поля ионизирующих излучений на примере территории г. Томска. Особое внимание уделено изотопам радона и ДПР, как источникам «вариативной» компоненты.

**Почвенные радионуклиды.** Моделирование вертикальных распределений в приземной атмосфере характеристик полей ИИ, создаваемых почвенными радионуклидами, произведено с помощью метода Монте-Карло [1, 2]. Глубину грунта брали для расчетов 50 см. Все результаты получали в расчете на единичную удельную активность (УА) каждого радионуклида, затем данные объединяли по 5-ти группам (ряды  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) и пересчитывали на реальную УА. Удельную активность  $^{235}\text{U}$  определяли по известному соотношению  $УА_{\text{U}235} = УА_{\text{U}238} / 21$ .

Поскольку регистрация атмосферного  $\gamma$ -фона производится, в основном, приборами, основанными на газоразрядных счетчиках, которые имеют нижний порог регистрации  $\gamma$ -излучения – 50 кэВ, все расчеты плотности потока  $\gamma$ -излучения  $P_\gamma$  производили в диапазоне энергий  $E_\gamma = 50\text{--}2600$  кэВ. В

расчетах также учтено, что нижний порог регистрации газоразрядными счетчиками жесткого  $\beta$ -излучения составляет 500 кэВ.

**Почвенные радионуклиды – вариативная компонента атмосферных полей ИИ.** Многочисленные экспериментальные наблюдения за динамикой радона (торона) в почвенном воздухе на глубинах до 1 м показали, что его активность может существенно изменяться во времени в зависимости от метеоусловий и состояния атмосферы. При этом, нарушается радиоактивное равновесие между родоначальниками природных рядов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и продуктами их распада начиная с изотопов радона и следующими далее по цепочке распада радионуклидами. Для оценки влияния почвенного радона на атмосферные поля ИИ проведено исследование степени нарушения радиоактивного равновесия, причиной которого может являться изменение погодных условий и другие факторы. Результаты расчетов по диффузионно-адвективной модели переноса радона в грунте показали, что на глубинах 10–20 см наблюдается сильное нарушение радиоактивного равновесия в урановом ряду между  $^{226}\text{Ra}$  и радоном на 80–95%. Нарушение равновесия в ториевом ряду между  $^{224}\text{Ra}$  и тороном происходит, в основном, только на первых 10-ти см глубины. Причем, на глубине 1 см от земной поверхности наблюдается нарушение радиоактивного равновесия на 53%, а на глубине 5 см – всего на 5%. С учетом этих данных произведены расчеты плотности атмосферных потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений от почвенных радионуклидов, содержащихся в приповерхностном, 50 см слое грунта, для различных значений нарушения радиоактивного равновесия, их сопоставление с полученными выше значениями, и анализ. В итоге выявлено, что вариации почвенного радона могут являться причиной вариаций атмосферного  $\gamma$ -фона до 25%, а  $\beta$ -фона – до 40%. Таким образом, можно заключить, что излучение почвенных радионуклидов является «вариативной» компонентой атмосферных полей ИИ.

**Атмосферные радионуклиды.** Основными дозобразующими атмосферными радионуклидами, в отсутствие радиационных аварий, являются изотопы радона, поступающие из грунта вследствие процессов диффузии и адвекции, а также их продукты распада. Объемная

активность (ОА) атмосферных радионуклидов постоянно варьирует в зависимости от времени. Для моделирования плотности потоков  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений воспользуемся моделью переноса радона и ДПР, а также методом Монте-Карло. Анализ результатов моделирования пространственного

распределения ОА атмосферных радионуклидов (изотопов радона и ДПР) показал, что основными влияющими на величину и форму профиля ОА факторами являются плотность потока радона и торона с поверхности земли, вертикальная составляющая ветра и турбулентность атмосферы. Например, непосредственно у земной поверхности величины  $P_\gamma$  и  $P_\beta$  могут изменяться, в зависимости от погодных условий, на 4–5 порядков величины. С ростом высоты диапазон изменения величины плотности потоков ИИ снижается.

**Сочетанное влияние почвенных и атмосферных радионуклидов.** Сопоставление вкладов атмосферных и почвенных радионуклидов в суммарный радиационный фон приземной атмосферы показывает, что атмосферные  $\beta$ - и  $\gamma$ -поля формируются, в основном, почвенными радионуклидами. Вклад атмосферного радона (ДПР его изотопов) в условиях «хорошей погоды» слабо зависит от высоты над земной поверхностью и составляет не более 0,05% в  $\gamma$ -фон, и не более 0,3% в  $\beta$ -фон. Вклады атмосферных радионуклидов в суммарный радиационный фон не превышают 0,3%. На высоте 1 м и выше изменения радиационного фона, вызванные динамикой атмосферных ДПР радона и торона, невозможно зарегистрировать, поскольку их вклад существенно меньше «аппаратурного шума». Зарегистрировать повышение до 20% могут только детекторы  $\beta$ -излучения, расположенные на 10 см от земной поверхности. На таких высотах контроль радиационного фона, обычно, не производят.

В связи с попытками, встречающимися в научной периодике [3-5], объяснить зарегистрированные в атмосферном  $\gamma$ -фоне аномальные всплески увеличением скорости выхода радона из грунта в приземную атмосферу, вызванным изменением погодных условий (прохождением циклонов), были произведены расчеты вклада атмосферного радона в суммарный радиационный фон в довольно широком диапазоне значений плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта от 1 до 1000 мБк м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>. Сюда же можно отнести и ситуацию с зонами разломов в земной коре. Анализ результатов расчетов показал, что даже при увеличении ППР от фоновых до аномально высоких значений ~1000 мБк м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>, что приведет к повышению ОА радона в приземной атмосфере так же на 2 порядка величины, вклад атмосферного радона в суммарный  $\gamma$ -фон не превысит 2,5% в независимости от высоты установки детектора, однако может заметно сказаться на атмосферном  $\beta$ -фоне, повысив его на 10% на высоте 1 м и на 22% – на 10 м. Таким образом, из расчетов следует, что детекторы  $\gamma$ -излучения (дозиметры) не смогут зарегистрировать даже аномально высокий выход почвенного

радона в атмосферу, в отличие от детекторов  $\beta$ -излучения, которые для этих целей следует устанавливать на высоту 5–10 м от земной поверхности.

**Заключение.** Анализ результатов исследования вкладов атмосферных и почвенных радионуклидов в суммарный радиационный фон приземной атмосферы позволил сделать следующие основные выводы:

1) атмосферный радон (его изотопы и ДПР) формирует только атмосферное поле  $\alpha$ -излучения, является источником его «вариативной» компоненты, и не оказывает значимого (детектируемого) влияния на атмосферные поля  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений;

2) атмосферные поля  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений формируются, в основном (не менее 99%), почвенными радионуклидами;

3) изменения концентрации почвенного радона и торона в поверхностном слое грунта, вызванные изменением погодных условий, могут приводить к вариациям атмосферного  $\gamma$ -фона до 25%, а  $\beta$ -фона – до 40%. Таким образом, поверхностный грунт является источником «вариативной» компоненты атмосферных полей  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений.

#### Список литературы:

1. Яковлева В.С., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Фирстов П.П., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Смирнов С.В., Паровик Р.И. Скоординированный многофакторный эксперимент по анализу процессов поступления почвенного радона в приземный слой атмосферы // АНРИ. 2009. № 4. С. 55–60.
2. Беспалов В.И. Пакет программ ЕРНСА для статистического моделирования поля излучения фотонов и заряженных частиц // Изв. вузов Физика. Приложение. 2000. № 4. С. 159–165.
3. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблеи за 1988 г., с приложениями: В 2-х т. - М.: Мир, 1992.
4. Greenfield M.B., Domondo A.T., Tsuchiya S., Tomiyama M. Monitoring precipitation rates using gamma rays from adsorbed radon progeny as tracers // J. Appl. Phys. 2003. V. 93. № 9. P. 5733–5741.
5. Greenfield M.B., Ito N., Kubo K., Ishigaki M., Komura K. Determination of rain age via gamma-rays from accreted radon progeny // J. Appl. Phys. 2008. V. 104. № 7. P. 074912–074921.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАМЕРЫ «CORDIN 530» ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Чупашев А.В.

Научный руководитель: Фарапонов В.В. к.ф.-м.н., доцент  
«Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет»,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36 корп.10

E-mail: [ChupashevAV@gmail.com](mailto:ChupashevAV@gmail.com)

При проведении внешнебаллистического эксперимента с использованием высокоскоростной съемки, перед экспериментаторами встает множество проблем, связанных с освещением объекта съемки, а так же, с синхронизацией пуска процесса записи в момент нахождения быстро движущегося тела в поле высокоскоростной съемки.

Для визуализации высокоскоростных процессов, применялись устройства, формирующие изображение на различных фотоносителях, требующих проявки. К таким устройствам относятся такие камеры как ВСК-5, СФР-2 и прочие. Применение этих камер значительно затрудняет процесс получения результатов, и, как следствие, значительно увеличивает время проведения эксперимента.

Для проведения экспериментов на баллистической трассе в НИИПММ ТГУ, была приобретена высокоскоростная камера «Cordin 530».



Рис. 1. Внешний вид высокоскоростной видеокамеры «Cordin 530».

Высокоскоростная видеокамера «Cordin 530» обладает следующими основными характеристиками:

- Макс. скорость съемки – 200000 к/с.
- Минимальная экспозиция – 0,4 мкс.
- Разрешение ПЗС матрицы – 1 Мп.
- Количество ПЗС матриц – 16.

Камера подключается к персональному компьютеру по «USB» интерфейсу. С помощью программного обеспечения, поставляемого вместе с камерой, можно управлять параметрами видеозаписи и синхронизации. Кроме того, изображения, полученные в процессе видеосъемки, напрямую считываются в ПК сразу после остановки видеозаписи.

Как видно из краткой характеристики, длина записи ограничена 16-ю кадрами, что накладывает жесткие условия на синхронизацию высокоскоростного баллистического процесса с запуском видеосъемки.

На рис. 2 представлена схематическая диаграмма подключения внешнего оборудования к камере.

Для синхронизации запуска процесса видеозаписи, при вылете снаряда из канала ствола, в НИИПММ ТГУ используется дульный датчик скорости, основанный на регистрации изменения электромагнитной индукции.

При пролете дюралевого снаряда (рис. 3), на датчике дульной скорости образуется электрический сигнал (рис.4).



Рис. 2. Схема подключения периферийного оборудования к высокоскоростной камере «Cordin 530» .



Рис. 3. Внешний вид метаемого тела в разобранном виде.

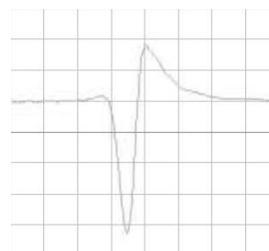


Рис. 4. Осциллограмма электрического сигнала, полученная при пролете метаемым телом сечения дульного датчика скорости.

Этот сигнал поступает на формирователь импульса, где преобразуется в П-образный цифровой сигнал. Для согласования уровней напряжений и длительности импульса от формирователя, используется генератор ГИ-1.

Для того чтобы свести к минимуму эффект смазывания изображения быстро движущегося объекта, необходимо выбрать длительность экспозиции, отталкиваясь от ожидаемого значения скорости тела. Если необходимо получить кадры быстро движущегося тела, с величиной смазывания не более 1мм, то длительность экспози-

ции в зависимости от скорости метаемого тела в диапазоне от 100 до 1000 м/с, можно оценить по графику на рис. 5.

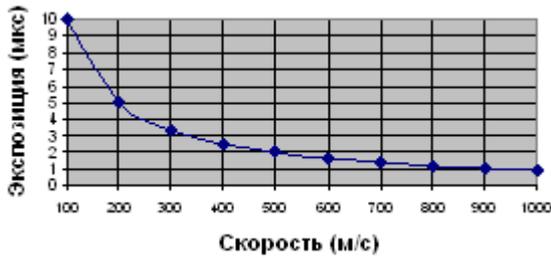


Рис. 5. График зависимости экспозиции от скорости метаемого тела.

Но из-за уменьшения экспозиции, количество световой энергии, попадающей на матрицу, соответственно сокращается. Для того чтобы увеличить интенсивность освещения объекта съемки, необходимо применять дополнительные источники света. Эти источники бывают импульсные и постоянные. Применение постоянных источников света позволяет значительно упростить процесс высокоскоростной съемки, но мощность таких источников должна быть от нескольких сотен до десятков тысяч ватт. Гораздо целесообразнее использовать импульсные источники света, так как они способны выдать за короткое время достаточно высокую плотность светового потока. Но их применение неотъемлемо связано с синхронизацией этих источников с моментом высокоскоростной съемки. На рис. 6 представлена осциллограмма регистрации фотопотока стандартной фотовспышки отечественного производства «Луч-70», применяемой в экспериментах с высокоскоростной съемкой на баллистической трассе в НИИПИМ ТГУ.

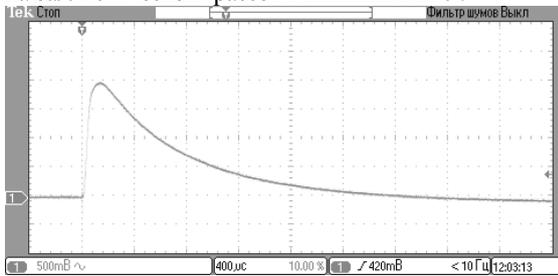


Рис. 6. Регистрация фотопотока вспышки «Луч-70».

Необходимый рабочий световой поток от вспышки обеспечивается в достаточно коротком промежутке времени, когда интенсивность электрического сигнала от вспышки не ниже половины её пикового значения. Для данной фотовспышки, это время около 500 мкс. Для обеспечения достаточной освещенности необходимо запускать фотовспышку чуть раньше процесса скоростной съемки, так как ей необходимо время, чтобы разогреться. Это время составляет примерно 50 мкс. Для увеличения продолжительности необходимого светового потока, было решено использовать дополнительную вспышку, зажигающуюся через 500 мкс после первой.

Как видно из рисунка, продолжительность рабочего светового потока увеличилась вдвое, давая возможность записывать более продолжительные процессы, либо расширить время визуализации процесса.

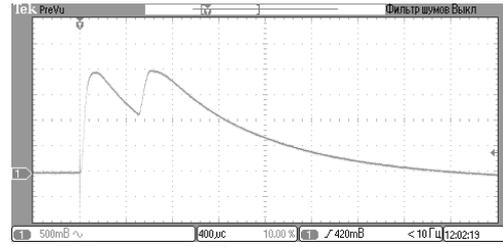


Рис. 7. Регистрация фотопотока двух последовательно включенных фотовспышек «Луч-70».

Становится понятно, что для всего процесса скоростной видеозаписи, необходимо синхронизировать несколько последовательных процессов, соблюдая определенные временные интервалы. Как видно из рис. 2, в камере уже предусмотрены эти функции. На задней панели корпуса камеры выведены клеммы подключения внешнего запуска камеры и две клеммы для подключения фотовспышек. С помощью программного обеспечения, поставляемого с камерой, можно управлять параметрами синхронизации с ПК. Например, можно выставить задержку пуска видеозаписи, после того, как на вход внешнего запуска был подан сигнал с формирователя импульса. Кроме того, можно выставить время задержки срабатывания для каждой фотовспышки индивидуально.

Для увеличения пиковой световой интенсивности, можно подключать параллельно несколько фотовспышек. Кроме того, это позволяет осветить объект съемки достаточно равномерно со всех сторон. На рис. 8. приведены некоторые кадры движущейся пули, изображены на рис. 3. Скорость тела - 938м/с, экспозиция - 1.6 мкс, суммарная энергия осветителей - 700 Дж. На кадрах отчетливо видно, что от каждого тела образуется несколько теней в результате использования 6-ти осветителей.

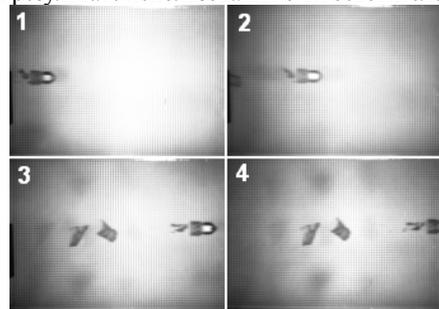


Рис. 8. Движение пули и деталей отделившегося контейнера на баллистической трассе.

#### Литература:

1. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / под ред.: Н. А. Златина, Г. И. Мишина. – М.: Наука, 1974. – С.157-163.
2. Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстропотекающих процессов / Дубовик А.С. – М.: Наука, 1989.
3. Костров А.В. Измерения и идентификация движения.-М. : МО СССР, 1986.- 394с.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ОЦЕНИТЬ ОБЪЕМНУЮ АКТИВНОСТЬ ВЫБРОСА ВНУТРИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ОБЪЕКТА МОНИТОРИНГА

Чурсин Ю.А., Антони Н.Е.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр.Ленина 30

E-mail: Ju\_@mail.ru

При несанкционированном выбросе радиоактивных примесей в виде перегретой газовой струи из отверстий, клапанов, неплотностей сосудов, рваных отверстий или щелей, возникающих в случае взрыва или разрыва резервуаров, находящихся под высоким давлением и высокой температурой невозможно определить ни параметры струи, выбрасываемой из отверстий, ни объемную активность примесей, ни их радиационные характеристики, поскольку не известен спектр или средняя энергия гамма-излучения, и, в конечном итоге, невозможно определить масштабы загрязнения окружающей среды и оценить экологические последствия загрязнения, так как подобные аварии являются крайне редкими и не могут быть прогнозируемыми.

Разработка универсальной аппаратуры, которую можно было бы использовать для определения указанных параметров и характеристик в любых ситуациях, – задача почти невыполнимая. Тем не менее, радиоактивное загрязнение окружающей среды в случае мощного нестационарного импульсного выброса примесей через отверстия может быть успешно оценено при использовании показаний технологических датчиков, определяющих температуру и давление среды, и показаний датчиков АСКРО, определяющих мощность дозы внешнего облучения от облака, образовавшегося в результате выброса. При этом датчики в санитарно-защитной зоне должны быть расположены по определенному правилу (см. рисунок 1), которое требует, чтобы расстояние от возможного источника радиационной опасности до любого датчика было строго различно [1].

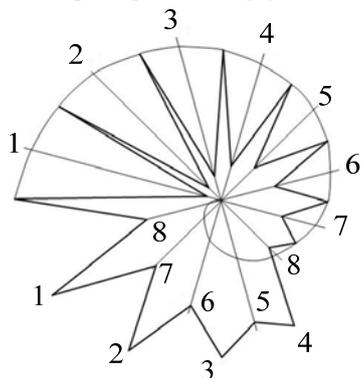


Рис. 1. Возможное размещение постов контроля АСКРО в санитарно-защитной зоне по спирали Архимеда (на пересечении кривой с лучами и многолучевой звезде в вершинах и основании лучей)

Известно, что степень влияния радиоактивных примесей при выбросах с опасных объектов определяется уровнем их приземных концентраций.

Оценка последних может быть получена в рамках моделей, различающихся как способом описания диффузионных процессов, так и описанием турбулентности в пограничном слое атмосферы. Эти различия могут играть значительную роль в формировании концентрации радиоактивной примеси как на различных расстояниях от источника, так и в различных метеорологических условиях, определяя, таким образом, характерную область применимости той или иной модели.

Распределение концентраций загрязняющих частиц в атмосфере при постоянной скорости ветра описывается из предположения двойного распределения в уравнении Гаусса [2]. Концентрация примеси, согласно этой модели, существенно зависит от двух параметров – горизонтальной  $\sigma_y$  и вертикальной  $\sigma_z$  дисперсий координат частиц примеси. При кратковременном точечном выбросе концентрация примеси описывается выражением:

$$q(x, y, z) = -\frac{P_B}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2} \cdot \left( \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right), \quad (1)$$

где  $P_B$  – мощность выброса, Бк/с;

$h$  – эффективная высота источника выбросов, м;

$u$  – скорость ветра на высоте выброса, м/с;

$x, y, z$  – эйлеровы координаты точки в пространстве.

Существует несколько способов оценки коэффициентов дисперсии  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  входящих в формулу для определения концентрации примеси. Они определяются, в конечном счете, путем сопоставления результатов измерения концентрации примеси в воздухе от реальных источников с результатами расчетов по теоретическим формулам гауссовой модели рассеяния на основе той или иной системы классификации погодных условий. При этом для различных местностей и условий выброса получаются разные результаты. Происходит накопление данных. Более поздние разработки обычно учитывают предшествующий экспериментальный материал, который сохраняется в международных и национальных информационных банках данных. В настоящее время наиболее совершенны и чаще всего используются формулы Смита-Хоскера [2].

При найденном значении концентрации радиоактивной примеси можно найти объемную активность по формуле

$$Q_V = \int_V q(x, y, z) dv.$$

Ввиду того, что нахождение значения мощности выброса  $P_B$ , входящего в формулу (1), пред-

ставляет собой существенные трудности и подразумевает использование дорогостоящего оборудования [3], нахождение значения объемной активности для каждого поста контроля в модели производится по следующей формуле [1]:

$$[Q_V]_i = \frac{D_i \cdot R_i^2 \cdot e^{\mu(\bar{E}) \cdot R_i} \cdot 10^{-5}}{1,45 \cdot \mu_a(\bar{E}) \cdot \bar{E} \cdot B(\bar{E}, R_i)}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_d,$$

где  $\bar{E}$  – средняя энергия гамма-излучения радиоактивной примеси, МэВ;

$\mu_a(E), \mu(E)$  – коэффициенты истинного поглощения и линейного ослабления гамма-излучения в воздухе соответственно;

$B(E, R) = 1 + a(E) \cdot \mu \cdot R \cdot e^{b(E) \cdot \mu \cdot R}$  – фактор накопления;

$a(E), b(E)$  – известные функции энергии [4];

$R_i$  – расстояние от точки выброса до датчика;

$i = 1, 2, 3 \dots N_d$ ;  $N_d$  – достаточное число датчиков системы АСКРО.

$\bar{E}$  в первом приближении вычисляется из предполагаемого спектра  $\varphi(E)$ .

Таким образом, суммарная активность радиоактивного облака будет определяться как среднеквадратичное значение:

$$\bar{Q}_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_d} [Q_V]_i^2}{N_d}}.$$

$\bar{E}$  связана с  $\varphi(E)$  – дифференциальным спектром гамма-излучения примесей как

$$\bar{E} = \frac{\int_E \varphi(E) E dE}{\int_E \varphi(E) dE}$$

Определение  $\varphi(E)$  позволяет найти среднюю энергию спектра  $\bar{E}$ , уточнить суммарную активность облака, рассчитать уровень загрязнения подстилающей поверхности и оценить масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды в целом.

$\varphi(E)$  можно найти, решив относительно него уравнение

$$D(R_{ijk}) = Q_V \cdot \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} a(E) \cdot \mu_a(E) \cdot \left( \frac{B(E, R_{ijk})}{R_{ijk}^2} \right) \cdot e^{(-\mu(E) \cdot R_{ijk})} \cdot \varphi(E) \cdot E dE \quad (2)$$

Уравнение (2) относительно  $\varphi(E)$  представляет собой уравнение Фредгольма первого рода и относится к классу некорректных задач при заданной погрешности измерения датчиков. Нетривиальное решение уравнения (2) возможно, если выполняется условие

$$R_{ijk} \equiv R_i : R_i \neq R_{i+1} \neq R_{i+2} \neq \dots \neq R_{N_d}.$$

Уравнение (2) решается заменой  $\varphi(E)$  групповым спектром, аппроксимацией интеграла конечной суммой и, таким образом, при различных  $i$

задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений

В виду того, что проверить правильность вычисления дифференциального спектра в реальном эксперименте не представляется возможным, для проверки методов расчета  $\varphi_j$  использовался так называемый метод «бумажного эксперимента»: задавался исходный спектр  $\varphi_{\text{анп}}(E)$  затем по уравнению (2) находились значения  $D(R_i)$ , которые искажались в пределах погрешности реальных показаний датчиков (20%), после чего различными методами решалась обратная задача определения  $\varphi_j$ . Результаты эксперимента показаны на рисунке 2. Погрешность метода Н. Fabian составила 1,4%, что говорит о его адекватности для данной задачи.

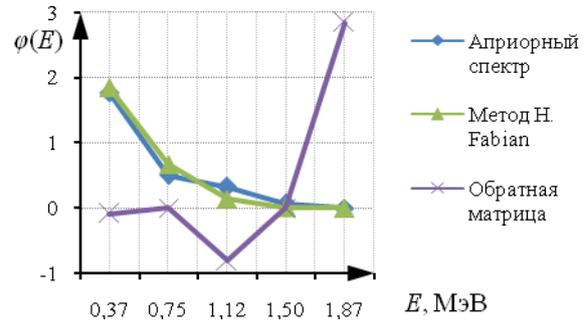


Рис.2. Сравнение исходного и восстановленных спектров

Таким образом, определение  $\varphi(E)$ , позволяет найти среднюю энергию спектра и уточнить суммарную активность облака, а разработанная модель рассчитать уровень загрязнения подстилающей поверхности и оценить масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды в целом.

#### Список литературы:

1. Елохин А.П. Оптимизация методов и средств автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 2001. – 335 с.
2. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. М.: Энергоатомиздат 1991, 256 с
3. Способ определения электропроводности и скорости потока ионизированного газа и устройство для его осуществления: А.с. №636775, МКМ G 01 P 5/08 от 27.05.88/ Елохин А.П., Макеев СН., Рау Д.Ф., Филатов Н.М. (СССР). Бюл.11. от 23.03.91. 10 с.: ил.
4. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.

## ПЛАЗМЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Шахматова О.Д.

Научный руководитель Каренгин А.Г., доцент, к.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [shahmatovaol@tpu.ru](mailto:shahmatovaol@tpu.ru)

Важнейшей составной и заключительной частью любого ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) является радиохимическая переработка и регенерация облученного ядерного топлива с извлечением, разделением ценных компонентов с последующей переработкой, обезвреживанием и захоронением радиоактивных отходов [1,2].

Около 97% облученного топлива – уран и синтезированный в ядерном реакторе плутоний; 3 % облученного топлива – продукты деления U-235, делящихся изотопов плутония и т. п. Концепция замкнутого топливного цикла предусматривает утилизацию всех видов радиоактивных отходов с получением отвержденных продуктов, пригодных для длительного хранения. Основная масса продуктов деления (более 99 %) остается в водной фазе; последнюю направляют в хранилище высокоактивных жидких радиоактивных отходов (ЖРО) [2].

В растворах ЖРО присутствуют различные нерадиоактивные продукты распада, такие как молибден и редкоземельные элементы (лантан, церий, неодим, празеодим, европий, самарий и гадолиний), а также конструкционные материалы (цирконий, железо, никель, хром, марганец). Выделение некоторых из них (например, благородных металлов) представляет потенциальный интерес для дальнейшего их использования, тогда как другие (самарий и гадолиний) должны быть удалены в процессе переработки топлива, поскольку они существенно препятствуют размножению нейтронов [3].

Цель данной работы - определение возможности переработки ЖРО с применением плазменной техники в порошки оксидов металлов для дальнейшего хранения или последующего использования.

В данной работе проведено термодинамическое моделирование процесса плазменной переработки ЖРО в различных плазменных теплоносителях.

Для моделирования был взят следующий состав таких отходов [3]:  $\text{HNO}_3$  – 18,0%,  $\text{H}_2\text{O}_1$  – 81,43%, Fe – 0,07%, Mo – 0,1%, Nd – 0,11%, Y – 0,06%, Zr – 0,058%, Na – 0,04%, Ce – 0,039%, Cs – 0,036%, Co – 0,031%, Sr – 0,026%.

В ходе работы использовались плазменные теплоносители с различным составом и соотношением компонентов при атмосферном давлении ( $P=0,1$  МПа).

На рисунке 1 представлен характерный равновесный состав основных конденсированных про-

дуктов переработки жидких радиоактивных отходов в пароводяной плазме.

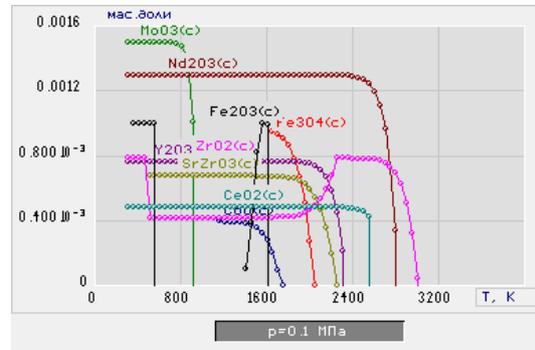


Рис. 1 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки жидких радиоактивных отходов в пароводяной плазме.

Из анализа равновесного состава следует, что при переработке жидких радиоактивных отходов в пароводяной плазме образуются в конденсированной фазе только оксиды металлов  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  и др.

При использовании воздушной плазмы при переработке ЖРО (рис. 2) также образуются в конденсированной фазе оксиды металлов  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  и др., но массовые доли полученных оксидов несколько меньше массовых долей, полученных в результате переработки ЖРО в пароводяной плазме.

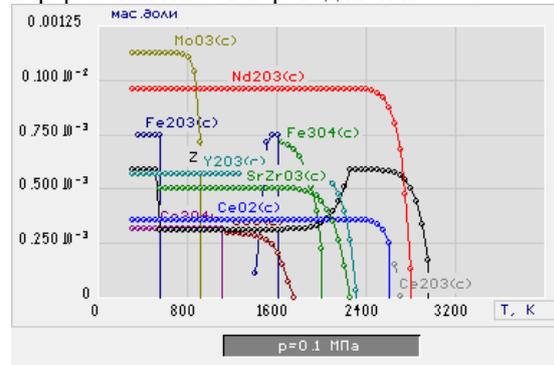


Рис. 2 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки жидких радиоактивных отходов в воздушной плазме (25% Воздух : 75% ЖРО).

Повышение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 25% до 50% (рис.3) не оказывает влияния на состав конденсированных продуктов плазменной переработки ЖРО. В процессе плазменной переработки также образуются оксиды  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ (c),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (c),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ .

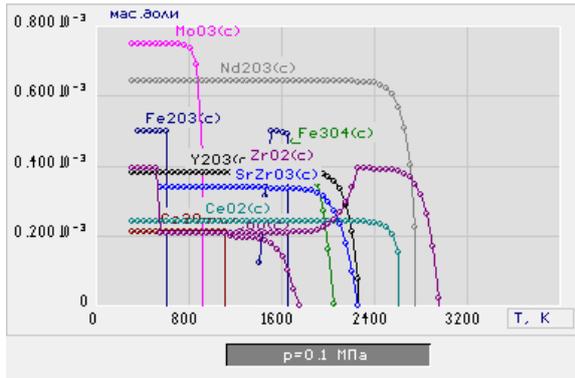


Рис. 3 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки жидких радиоактивных отходов в воздушной плазме (50% Воздух : 50% ЖРО).

Как показано на рисунке 4, при плазменной переработке ЖРО в воздушной плазме в виде водноорганических композиций с высокой взаимной растворимостью «ЖРО - Вода - Спирт», образуются в конденсированной фазе не только оксиды металлов ( $\text{MoO}_2$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SrZrO}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), но и металлы, например,  $\text{Mo}(c)$ . Соотношение ЖРО и восстановителя в ВОК ЖРО 50%: спирт50%.

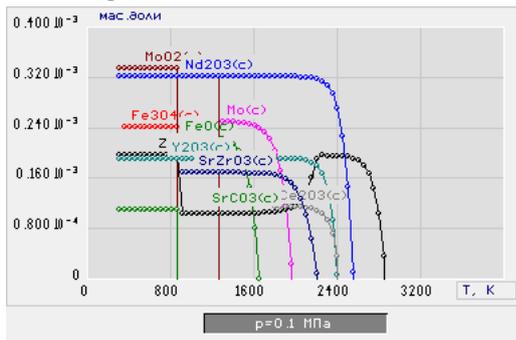


Рис. 4 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки ВОК, состоящей из жидких радиоактивных отходов и спирта, в воздушной плазме (50% Воздух : 25% ЖРО : 25%  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

Снижение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 50% до 25% при равных массовых долях ЖРО и спирта по 37.5% приводит к дополнительному образованию в конденсированной фазе металлического  $\text{Co}(c)$ .

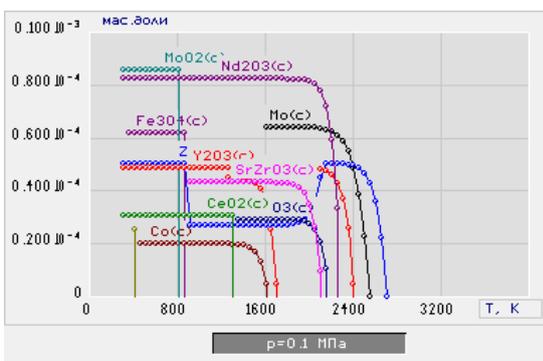


Рис. 5 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки ВОК, состоящей из жидких радиоактивных отходов и спирта, в воздушной плазме (25%воздух : 37,5%ЖРО: 37,5% $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

На рисунке 6 представлен характерный равновесный состав основных конденсированных продуктов плазменной переработки водноорганической композиции (ЖРО 37,5% : спирт 2,5% ) в воздушной плазме(60%).

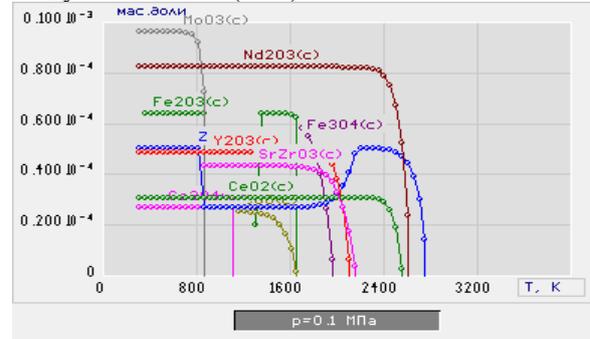


Рис. 6 Равновесный состав основных конденсированных продуктов переработки ВОК, состоящей из жидких радиоактивных отходов и спирта, в воздушной плазме (60% Воздух : 37,5% ЖРО : 2,5%  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке плазменной технологии и оборудования для утилизации и обезвреживания ЖРО.

#### Список литературы

1. Андреев Г.Г., Дьяченко А.Н. Введение в химическую технологию ядерного топлива – Томск: Изд-во ТПУ, 2008-150с.
2. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: «Физматлит», 2003. – 759с.
3. Пантелеев Ю. А., Александрук А. М., Никитина С. А., Макарова Т. П., Петров Е. Р., Богородицкий А. Б., Григорьева М. Г. Аналитические методы определения компонентов жидких радиоактивных отходов. Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина, т. XII, 2007г.

---

---

## **СЕКЦИЯ 9**

---

---

# **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**



## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Алексеева М.Н., Яценко И.Г., Перемитина Т.О.

Научный руководитель: Яценко И.Г., к.г.-м.н.

Институт химии нефти СО РАН, 634021 Россия, г. Томск, пр. Академический, 4

E-mail: [amn@ipc.tsc.ru](mailto:amn@ipc.tsc.ru)

Экологические исследования на территории нефтедобывающего комплекса предполагают оценку фактического состояния и уровней загрязнения основных компонентов окружающей среды, выявление существующих и возможных экологических нарушений, оценку зон существующего и возможного влияния объектов нефтедобычи. В настоящее время для экологических исследований используются различные геоинформационные системы (ГИС) предоставляющие возможности моделирования и прогнозирования неблагоприятных ситуаций.

Объекты нефтедобычи зачастую расположены на болотах, озерах и их водоохранных зонах, отличающихся высокой чувствительностью к антропогенному воздействию. При возникновении чрезвычайных ситуаций и экологических нарушений на предприятиях нефтедобычи происходит загрязнение водных объектов и угнетение растительности указанных территорий.

Основной целью данной работы являлось проведение анализа экологического состояния нефтедобывающей территории и построение «уязвимых» зон к техногенному воздействию с использованием средств ГИС на примере территории Самолторского месторождения. Исходными данными для анализа экологического состояния территории явились карты, космические снимки Landsat и данные, приведенные в экологических отчетах [1, 2].

Для построения картосхемы (рис.1) было проведено дешифрирование космических снимков (КС) Landsat с использованием стандартных средств программного пакета ERDAS Imagine. Были построены цифровые карты сети кустовых площадок, нефтепроводов и различных водных объектов, а также нефтеразливов. Построение водоохранных, санитарно-защитных зон и зон влияния возможных нефтеразливов проводилось с использованием стандартных средств ArcView и ArcGIS.

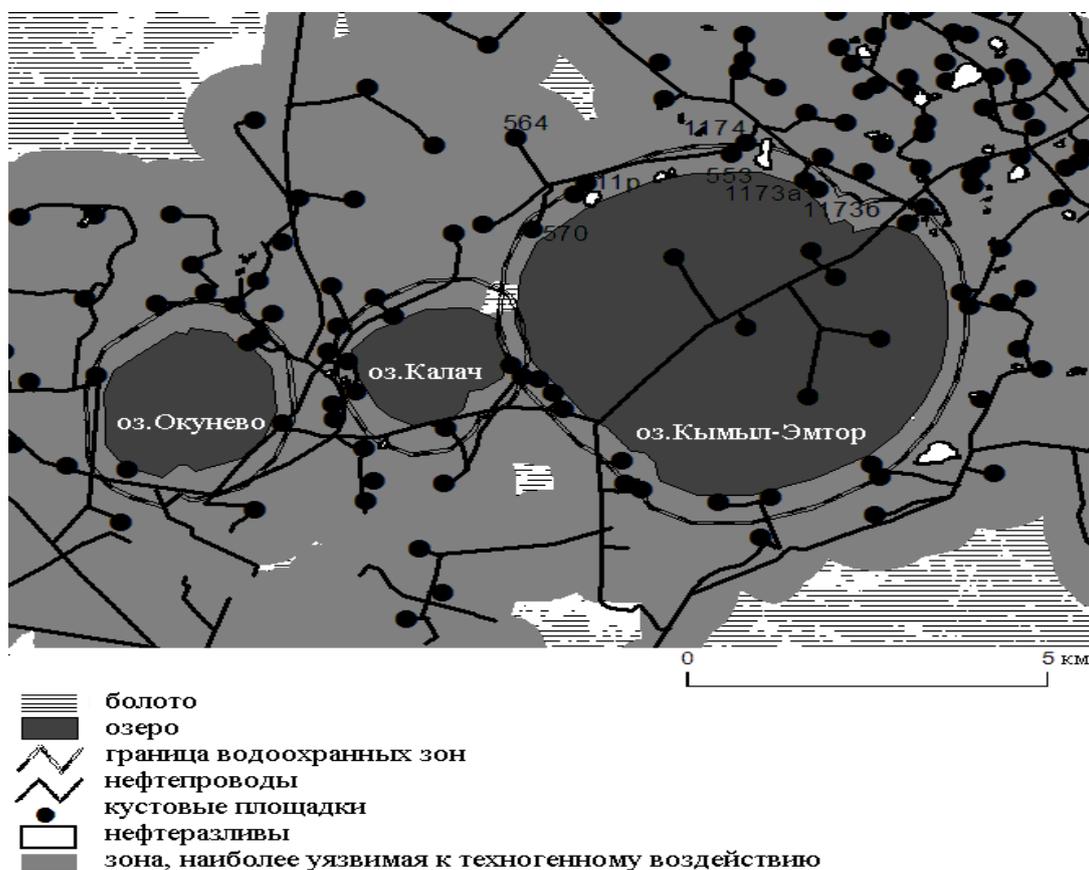


Рис.1. Картосхема с зоной, наиболее уязвимой к техногенному воздействию

Водоохранной зоной, согласно положению [3], является территория, примыкающая к акваториям рек, озер и других поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира. Минимальная ширина водоохранной зоны для озер с площадью акватории более 2 км<sup>2</sup> составляет 500 м. На картосхеме водоохранной зоны приведены для озер Кымыл-Эмтор, Калач, Окунево.

Для обеспечения снижения уровня воздействия на среду обитания и здоровье человека до требуемых гигиенических нормативов для предприятий топливно-энергетического комплекса определена санитарно-защитная зона [4]. Так, для предприятий по добыче нефти с высоким содержанием летучих углеводородов и выбросами сероводорода от 0,5 до 1 т/сутки защитная зона составляет 1000 м. В данной работе санитарно-защитные зоны построены вокруг каждой кустовой площадки и их ширина составляет 1000 м. В работе кроме санитарно – защитных зон вокруг кустовых площадок построены также зоны влияния возможных нефтеразливов из нефтепроводов. Ширина данных зон определена с учетом нормативного документа [5] и опыта выявления нефтеразливов на КС, которая составляет тоже 1000 м по обе стороны от линий нефтепроводов [6].

Неблагоприятное воздействие на состояние растительного покрова, водных объектов и приземного слоя атмосферы оказывает нефтезагрязнение вследствие аварий на нефтепроводах и нарушений на предприятиях нефтедобычи. На рисунке 1 приведены контуры нефтеразливов, определенные по космическому снимку Landsat 1999 г. На исследуемом участке площадь нефтеразливов составляет 1 км<sup>2</sup>, много нефтеразливов обнаружено в северо-восточном направлении от озера Кымыл-Эмтор. На данной территории в течении нескольких лет наблюдается негативное воздействие нефтезагрязнения. Так, в результате наземного обследования территории в 2011г.[1] было установлено неудовлетворительное экологическое состояние кустовых площадок № 564, № 570, № 11р, № 563, № 553, № 1174, № 1173а, № 1173б, находящихся в водоохранной зоне. На многих кустовых площадках отмечены нарушения в содержании шламовых амбаров и обнаружены разливы нефтесодержащей жидкости. В процессе обследования кустовых площадок № 1173а и 1173б были выявлены утечки нефтесодержащей жидкости за пределы объекта на прилегающую заболоченную территорию.

Таким образом, в работе представлен пример использования ГИС-технологий для построения

карт «уязвимых зон», отличающихся высокой чувствительностью к негативному воздействию нефтедобычи. С учетом возможного неблагоприятного влияния объектов нефтедобычи построены зоны влияния на состояние водных объектов и растительности нефтедобывающих территорий. Проведенный анализ экологического состояния Самотлорского месторождения свидетельствует о необходимости экологического мониторинга данной территории.

#### Литература:

1. Вести с Самотлорского месторождения // Общественная организация Ханты-Мансийского автономного округа – Югры по содействию в решении задач в области экологии «эконадзор». url: <http://www.econadzor.com/news/236.html>.
2. Природопользование и охрана окружающей среды // Официальный веб-сайт органов государственной власти Ханты-Мансийского автономного округа - Югры. url: <http://www.admhmao.ru/socium/ekologiya/index.htm#8>.
3. Постановление правительства РФ № 1404 от 23.11.96 «Об утверждении положения о водоохранной зоне водных объектов и их прибрежных защитных полосах». url: <http://tomsk.gov.ru/ru/documents/index.html?document=13224&version=print>.
4. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов". url: <http://www.docload.ru/Basesdoc/11/11774/index.htm>.
5. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. - М.: Государственное университетское предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности госгортехнадзора России», 2002. 133 с.
6. Алексеева М.Н., Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Оценка влияния нефтеразливов на состояние растительного покрова и приземного слоя атмосферы с использованием космических снимков // Оптика атмосферы и океана. 2011. т. 24. № 7. с.606-610.

## ДЕЛЕГИРОВАНИЕ ПОЛНОМОЧИЙ

Виштель Ю.Г.

Научный руководитель: Плотникова И.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [vishtel@sibmail.com](mailto:vishtel@sibmail.com)

Эффективное руководство предприятием требует от руководителя, во-первых, делегирования части своих полномочий подчинённым и помощникам, оставляя себе наиболее важные стратегические функции управления организацией, и, во-вторых, обеспечение четкого закрепления ответственности за каждым сотрудником. Каждый человек на предприятии должен знать свои права и обязанности, свою часть внутрифирменного регламента. Он четко должен знать, что он обязан делать на своем посту, за что и как его накажут, если он будет халатно относиться к своим обязанностям, а также в каких случаях его могут наградить. Он также должен понимать, где кончается зона его ответственности и начинаются зоны его руководителя и подчиненного.

Руководитель должен насколько это возможно, обеспечить эффективность действий подчиненных и их уверенность в своих силах.

Точить карандаши и варить кофе - дело секретаря, договариваться с поставщиком о закупках комплектующих - дело менеджера, а право и обязанность решать вопросы стратегического развития фирмы целиком лежит на руководителе. Это звучит банально, но часто менеджеры высшего уровня пытаются (из самых благих побуждений, конечно), вмешиваться в работу своих подчиненных или делать ее самим. На самом деле лучше, если менеджеры низшего уровня пытаются выглядеть на один уровень выше своего руководителя - не для того, чтобы принимать решения за руководителя, а чтобы видеть картину в целом, и более ответственно принимая решения на своем уровне.

Здесь встает проблема дозирования доступа к информации у подчиненных. Недостаток информации может привести к неверному решению, а избыток знаний добавляет груз ответственности, а порой, может быть опасен для организации.

Поэтому порой руководителю имеет смысл вводить в курс дела своих подчиненных с тем, чтобы они сознательно выполняли (или не выполняли) те или иные действия. В то же время бывают моменты, когда условия безопасности требуют ограничить доступ части служащих к какой-то информации. В частности, такая ситуация возможна при подготовке к выпуску новой продукции, которая должна оказаться сюрпризом для конкурентов или при разработке крупной рекламной кампании. Третий вариант предусматривает «утечку» информации через каких-то сотрудников, и тогда речь идет не об информации, а, скорее, о дезинформации конкурентов.

Делегирование полномочий не исключает контроля, а просто делает его более мягким и менее регулярным. Постоянный жесткий контроль, являющийся нормой в жестких иерархических структурах, заменяется на возможность контроля, которую чувствуют люди, но это не должно давить на них и мешать творчески трудиться.

Чак Найт, председатель совета директоров «Эмерсон электрик», считает, что в случае неудачи следует обсуждать пути выхода из тупика, а не искать виноватого. Он называет такой стиль «компания без упреков» и полагает, что в результате подобной стратегии люди не боятся рисковать и брать на себя ответственность за те или иные практические действия.

При этом, передавая подчиненным часть полномочий высшего уровня, важно научить их ответственности и основам планирования своей деятельности.

На первый взгляд такая практика выглядит просто, как примитивный способ обязывать служащих представлять своему боссу отчеты о своей работе. Разумеется, сюда включается и всякого рода отчетность, но подразумевается гораздо больше, так как система квартальных докладов заставляет служащих отчитываться и перед собой. Она не только вынуждает каждого менеджера обдумывать собственные цели, но и служит так же надежным способом напоминать людям о необходимости не предавать забвению свои мечты.

Регулярно раз в три месяца любой менеджер должен садиться за стол рядом со своим непосредственным начальником, чтобы обсудить итоги сделанного и наметить цели на следующий квартал. Если у него с начальником достигнуто полное согласие относительно намеченных целей, менеджер оформляет их в виде письменного документа, который начальник визирует своей подписью.

Система квартальных докладов представляется почти элементарной, если игнорировать тот факт, что она эффективна. Эффективность ее обусловлена рядом причин. Во-первых, она позволяет человеку быть самому себе хозяином и определять самому себе задачи. Во-вторых, она делает его труд более плодотворным и заставляет проявлять инициативу. В-третьих, она способствует продвижению новых идей до самого верха. Квартальные доклады заставляют менеджеров обдумать и взвесить итоги своей деятельности, свои планы на предстоящий срок и способы их реализации. Лучшего метода стимулировать новые подходы к решению возникающих проблем я не нашел».

Делегирование полномочий может быть направлено на любое поле деятельности предприятия. Сохраняя за собой выработку стратегии, контроль и общее управление, руководитель на время или постоянно передает решение менее значительных задач и необходимые полномочия подчиненным. Однако не следует делегировать чисто управленческие функции руководителя, а также выполнение стратегически важных для предприятия задач. В итоге происходит рациональное перераспределение прав и обязанностей между руководителем и отдельными работниками или группами. Стиль делегирования рассчитан на тех руководителей, которые хорошо понимают ситуацию и умеют распознавать уровень зрелости сотрудников, передавая им только те дела, с которыми они могут

справиться. Делегирование может применяться только в сплоченных коллективах и при условии, что те, кому передается право самостоятельного решения проблемы, являются специалистами высокого класса. Существуют две модели управления делегированием.

1. Традиционная модель (делегирующие задачи). Она предполагает постановку конкретных задач, дается возможность проявлять инициативу в деле поиска путей и решений. Руководитель сохраняет за собой всю ответственность, поэтому может часто вмешиваться в действия сотрудника.

2. Модель Р. Хена (делегирующие ответственности). Она не только предоставляет работнику свободу в поиске путей решения задачи, но и наделяет его ответственностью. Эта модель требует четкого определения тех случаев, когда работники имеют право принятия самостоятельных решений; определение круга лиц, с которыми работник может контактировать, минуя непосредственного начальника.

Для того чтобы успешно применять управление делегированием, необходимо не только предоставить сотрудникам свободу в выполнении заданий, передать им часть своих полномочий, но и предусмотреть и обговорить порядок и случаи вмешательства руководителя в случае ошибки при выполнении задачи. Постановленные задачи должны совпадать с реальными возможностями сотрудников, иметь общий характер действий. Делегированные компетенции и ответственность за действия должны соответствовать друг другу по объему. Прежде чем применять управление методом делегирования, руководитель должен определить, для чего, кому, каким образом и какие полномочия передавать. При этом необходимо учесть, какие выгоды для него, самих подчиненных и всей организации в целом могут быть получены от реализации данного метода. Как правило, делегируются следующие виды полномочий:

1. решение узкоспециальных задач, в которых конкретные исполнители разбираются лучше руководителя;
2. осуществление подготовительной работы, носящей в большинстве своем рутинный характер, но позволяющей работнику показать свои возможности (например, обобщение материала, написание различных проектов, носящее "бумажный" характер;
3. присутствие на мероприятиях информационного характера, выступление с обменом опытом. Условиями эффективного управления методом делегирования являются:
  1. благоприятная моральная атмосфера в коллективе, взаимопонимание и доверие между руководителем и подчиненными;
  2. предварительная оценка способностей исполнителей, поручение работы, с которой ранее не приходилось сталкиваться;
  3. объяснение задания, обеспечение необходимой информацией;

4. заинтересованность сотрудников участием в управлении, наличие у них достаточных знаний и опыта, добровольность участия;

5. равномерность в распределении решаемых задач, отсутствие излишнего вмешательства и опеки со стороны руководителя.

Если рутинная, не очень интересная работа будет сменяться увлекательной, заставляющей людей улучшать свои знания и получать новые навыки, соревноваться друг с другом, то успех делегирования обеспечен. Если же наоборот, то произойдет подрыв самой идеи делегирования.

Несмотря на то что управление делегированием связано с определенным риском, оно вполне оправданно, так как сулит немалые выгоды. Особенно часто делегирование применяется в том случае, когда работник обладает специфическими знаниями в той или иной узкоспециальной области. Примером активного использования делегированного стиля при решении исследовательских задач может быть компания "Майкрософт". Кроме "Майкрософт", делегирование возрождается в компании "Форд Моторс". Структура этой компании напоминает пирамиду, где лишь очень малое количество сотрудников отчитывается непосредственно перед руководителем того или иного подразделения. Применение делегирующего стиля в управлении дает возможность этим огромным финансово-промышленным империям быть всегда мобильными и восприимчивыми к конъюнктуре рынка.

К недостаткам управления методом делегирования можно отнести то, что руководитель делегирует по возможности меньшее число интересных задач; преобладает ориентация на задачи, а не на сотрудников; могут устанавливаться иерархические отношения "по горизонтали" с точки зрения выполнения конкретных задач.

Управление методом делегирования определяется стилем руководства и набором личностных качеств менеджера. Как правило, руководители не применяют метод делегирования по следующим причинам:

1. не доверяют подчиненным и опасаются того, что они недостаточно компетентно выполняют поручения;
  2. опасаются потери собственного авторитета или статуса вследствие того, что подчиненные начинают приобретать высокую компетенцию;
  3. испытывают страх перед риском и боятся потерять контроль за ходом решения проблемы.
  4. из-за недостатка времени или неумения консультировать подчиненных и управлять ими.
- Также руководителю следует помнить, что подчиненные не готовы к участию в управлении делегированием, если они недостаточно уверены в себе, испытывают дефицит информации и страх перед возможной критикой, не получают положительных откликов на успешно выполненные поручения, недостаточно мотивированы, в коллективе присутствует отрицательная атмосфера.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РОСТА РАСТЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ МИКРОРЕЗОНАНСНОЙ БИОАКТИВАЦИЕЙ

И.Г.Грабар, Ю.В. Березенский

Научный руководитель: И.Г.Грабар, д.т.н., профессор  
Житомирский национальный агроэкологический университет  
10008, Украина, г. Житомир, бульвар Старый, 7

E-mail: [ivan-grabar@rambler.ru](mailto:ivan-grabar@rambler.ru)

Регуляция скорости роста и развития растений тесно связана с расширенным и углубленным изучением возможности управления жизненными процессами. В этом отношении особый интерес представляет поиск различных физических факторов, воздействующих на отдельные стороны метаболизма. Исследование внутриклеточных регуляторных механизмов, контролируемых основные жизненные функции организма, и поиск путей управления ими открывает широкие возможности использования потенциальных резервов растительного организма с учётом факторов внешней среды [1]. Важная роль в указанных процессах принадлежит влиянию физических полей на транспорт ионов через мембрану клетки и питательных веществ из эндосперма внутрь зародыша [2], а также использованию активированной воды.

Под активацией понимают временное изменение свойств воды или семян при различных физических воздействиях [3], одними из которых являются микрорезонансная биоактивация (МРБА) и температурная активация воды с обязательным переходом через точки фазовых переходов (ТАФП).

Проведенные опыты позволяют сделать вывод о возможности стимуляции, ингибирования и коррекции ростовых процессов.

В докладе приведены результаты исследования влияния МРБА с разным режимом и временем экспозиции и воды прошедшей ТАФП на предпосевную обработку семян и последующую кинетику их роста.

Нами использовалась методика, предложенная для изучения влияния МРБА на семена зерновых культур [4].

В опыте в качестве тест-растений использовались семена льна-долгунца.

Семена проращивались в одинаковых условиях освещения при одинаковой влажности, температуре воздуха ( $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и атмосферном давлении по стандартной методике, в чашках Петри, на фильтровальной бумаге.

Каждая группа семян (по 10 в группе) до начала проращивания подвергалась действию микрорезонансной биоактивации разного времени экспозиции и режима ( $A_1$  и  $A_2$ ) с добавлением проточной воды и воды, прошедшей ТАФП ( $A_4$ ).

Для определения влияния активации был проведен ряд наблюдений за динамикой роста растений на ранних этапах морфогенеза начиная с 72 часов после начала опыта. Кинетика прорастания семян в каждом варианте устанавливалась измерением длины проростков с точностью 0,5 мм через двенадцать часов в течение шести суток. В ходе опытов определялась длина подземной и надземной части проростков (рис. 1-2).

Установлено, что под действием МРБА второго режима обработки в сочетании с добавлением воды, прошедшей ТАФП, длина подземной части при экспозиции 2 и 4 мин. увеличилась на 36% и 52% соответственно. При использовании первого режима МРБА с водой ТАФП обе экспозиции были на уровне варианта с добавлением только воды ТАФП, без обработки семян. Увеличение кинетики в них составило 36-38%. В вариантах с применением обработки только МРБА результаты были выше контроля на 19-30%, за исключением второго режима с экспозицией 2 мин., показатели которого были отрицательными.

Определение динамики роста надземной части также выявило положительный результат. Для вариантов  $A_2$  с экспозицией 4 мин. с добавлением воды, прошедшей ТАФП, и без неё увеличение было на уровне 20%. Варианты с водой ТАФП и режимами  $A_1$  с экспозицией 2 и 4 мин.,  $A_1$  с экспозицией 2 мин. и  $A_4$  показали схожие результаты в 13-14%. Показатели других вариантов не превышали контроль.

Подобное влияние МРБА может объясняться действием поля активатора как на клетку в целом, так и за счет взаимодействия с отдельными её структурами — клеточной мембраной, хлоропластами, ядром, протеинами, протоплазмой.

За счет увеличения проницаемости мембран повышается интенсивность ионного обмена клетки, что влияет на скорость прохождения биохимических реакций и, как следствие — экспрессию специфических генов [5].

Таким образом, приведенные предварительные данные исследований позволяют утверждать, что сочетание таких физических методов, как МРБА, а также использование воды ТАФП для предпосевной обработки семян льна-долгунца способны повышать кинетику роста в широких пределах — от 13% до 52%.

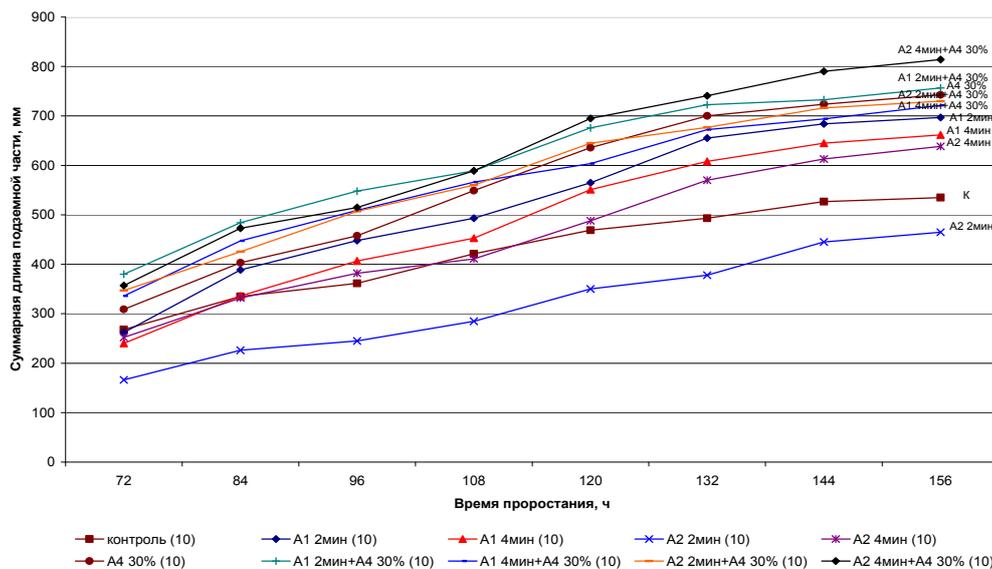


Рис.1. График прорастания подземной части льна-долгунца сорта Лира

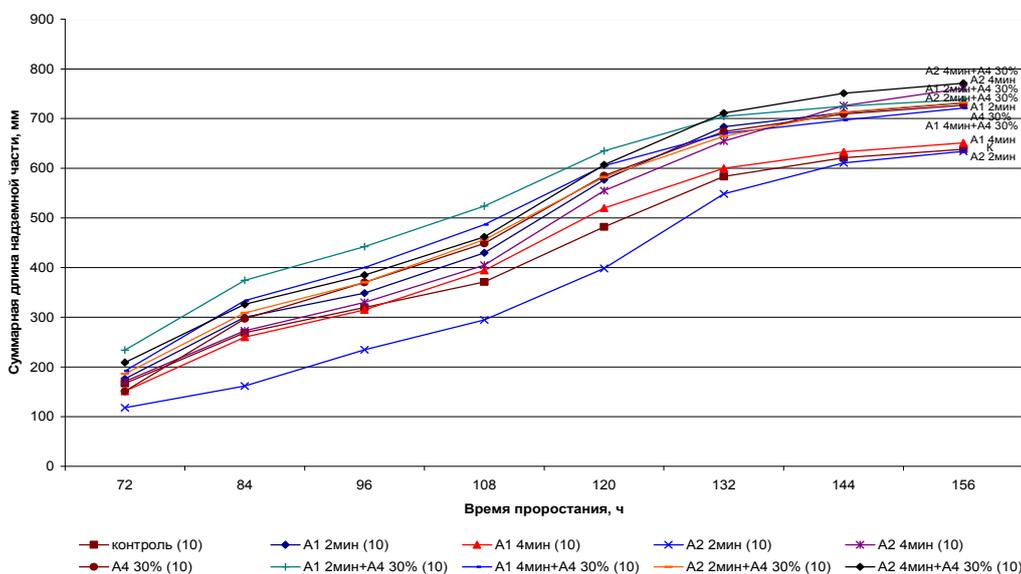


Рис.2. График прорастания надземной части льна-долгунца сорта Лира

### Список литературы:

1. Биорегуляция микробно-растительных систем / Иутинская Г. А., Пономаренко С. П., Андреюк Е. И. и др.; Под общей ред. Г. А. Иутинской, С. П. Пономаренко. — К. : Ничлава, 2010. — 464 с.
2. Никифорова, Л. Є. Моделювання взаємодії електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону з насінням тепличних культур / Л. Є. Никифорова // Вісник ХНТУСГ. — 2009. — С. 127-130.
3. Куценко Ю. М. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах виробництва і переробки продукції рослинництва / Ю. М. Куценко, М. І. Лукашенко // Наукові доповіді Національного аграрного університету. — 2006. — Вип.1. №2. — С. 1-16.
4. Грабар І.Г. Контроль біоактивації води кінетикою проростання зерен пшениці / І.Г. Грабар, О.І. Троянський, О.М. Максимчук // Вісник ЖНАЕУ. — 2009. — № 1. — С. 12-17.
5. Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications / R. W. Hunt, A. Zavalin, A. Bhatnagar, S. Chinnsamy, K. C. Das // Int J Mol Sci. 2009 October; 10(10): 4515-4558.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Осипов К.Ю., Данн Д.Д.

Научный руководитель: д.т.н. Фурса Т.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30

E-mail: [DDDann@tpu.ru](mailto:DDDann@tpu.ru)

Бетоны часто используются в конструкциях, где к ним предъявляются высокие требования по надежности, поэтому задача контроля их механических характеристик имеет важное практическое значение. Для решения этой задачи может быть использовано явление механоэлектрических преобразований при импульсном механическом возбуждении диэлектрических материалов [1-3]. На основе этих исследований разработан и запатентован способ неразрушающего контроля прочности гетерогенных материалов, алгоритм которого основан на использовании величины и максимальной спектральной частоты электрического сигнала, возникающего при их ударном возбуждении [4].

Прочность бетона в значительной степени зависит от пористости, качества контакта матрицы с заполнителем и наличия трещин. В процессе эксплуатации, конструкции из бетона находятся в условиях воздействия на них значительных механических напряжений и изменяющихся во времени температуры и влажности, в результате чего начинается процесс трещинообразования и как следствие снижение прочности.

Исследования были выполнены с помощью лабораторного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение материалов и регистрацию электрического сигнала. Импульсное механическое возбуждение образцов производилось с помощью электромеханического ударного устройства, с нормированной силой удара. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля, использовался дифференциальный электрический датчик. Оцифровка сигнала осуществлялась с помощью платы ввода-вывода совмещенной с ЭВМ.

Исследования проводились на образцах тяжелого бетона размером 50x50x100 мм. Для создания различной степени трещиноватости партия образцов, которая состояла из 12 штук, была разбита на 6 групп по 2 образца в каждой и проведено различное количество циклов замораживания-оттаивания (4, 8, 12, 16 и 20 циклов), 2 образца не подвергались знакопеременным испытаниям.

После окончания знакопеременных испытаний все образцы были высушены до нормальной влажности и проведено измерение из них электрических откликов на упругое ударное возбуждение. Затем образцы были разрушены на прессе и определена их реальная прочность на сжатие.

На рисунке 1 приведены амплитудно-частотные характеристики электрических сигналов из бездефектного (контрольного) образца, из такого же образца, прошедшего 20 циклов замораживания-оттаивания, в результате чего на поверхности образовалась сетка видимых трещин (б).

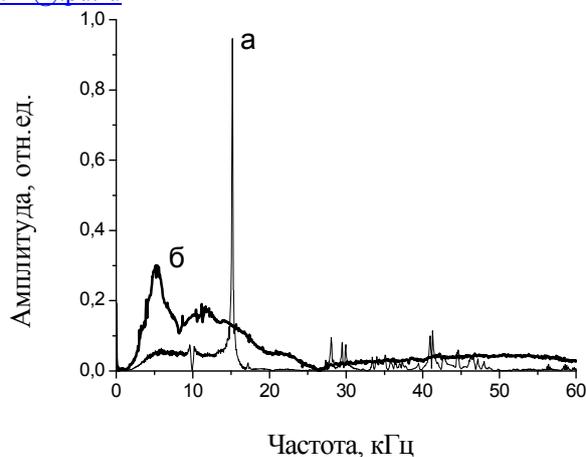


Рисунок 1. Амплитудно-частотные характеристики электрических откликов из контрольного (а) и дефектного (б) образцов тяжелого бетона.

Как видно из рисунка наличие в образце трещин приводит к значительному изменению амплитудно-частотной характеристики электрического сигнала по сравнению с амплитудно-частотной характеристикой сигнала, который регистрируется из образца без трещин. Кроме того повышение дефектности приводит к снижению прочности, в частности, прочность контрольного образца составила 26,5 МПа, а дефектного 13 МПа.

Следовательно, степень трансформации спектральных характеристик электрических сигналов может служить критерием для определения прочности материала. Для количественной оценки изменения формы амплитудно-частотных характеристик электрических сигналов был использован корреляционный анализ.

Спектральная характеристика электрического сигнала из бездефектного цементно-песчаного образца (рисунок 1а) имеет достаточно простой вид, в котором присутствует явно выраженный максимум. Частота этого максимума определяется по формуле:  $f = v/2 \cdot L$ , где  $v$  – скорость звука материала образца,  $L$  – высота образца. Поэтому для упрощения процедуры осуществления неразрушающего контроля с использованием корреляционного анализа предложено в качестве эталонной функции использовать спектр свободно затухающих гармонических колебаний с частотой, соответствующей частоте основного спектрального максимума электрического сигнала из бездефектного образца.

Установлено, что уменьшение прочности, вызванное циклическим замораживанием-оттаиванием, приводит к уменьшению максимального коэффициента взаимной корреляции и увеличению смещения, при котором наблюдается максимальный коэффициент взаимной корреляции спектра электрического сигнала из исследуемого образца. С одной стороны

снижение коэффициента взаимной корреляции с уменьшением прочности свидетельствует о наличии в материале дефектов в виде трещин, которые и приводят к снижению прочности. С другой стороны увеличение смещения свидетельствует об уменьшении скорости звука с уменьшением прочности.

Для учета этих двух факторов в качестве критерия определения прочности предложено использовать частное от деления смещения на коэффициент взаимной корреляции - обобщенный параметр (рисунок 2).

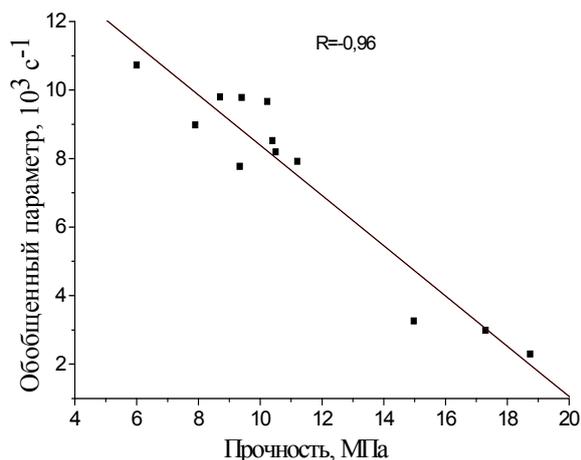


Рисунок 2. Зависимость обобщенного параметра, полученного с использованием математического эталона, от прочности тяжелого бетона.

Средняя погрешность определения прочности по предложенному методу для тяжелого бетона составляет 9 %.

Для сравнительного анализа было проведено измерение прочности образцов с помощью стандартного электронного измерителя прочности строительных материалов ИПС – МГ4+ (склерометра). При определении прочности использовалась градуировочная зависимость для тяжелого бетона на гравии, заложенная в приборе. Для примера на рисунке 3 приведена зависимость прогнозируемой с помощью склерометра и реальной прочностью.

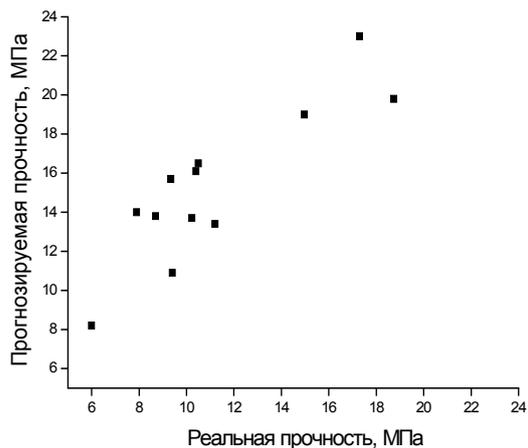


Рисунок 3. Зависимость прогнозируемой с помощью склерометра прочности от реальной прочностью образцов.

Как видно, во-первых, склерометр дает завышенные значения, что с точки зрения практического использования является однозначно минусом, а во-вторых, погрешность в определении прочности очень высокая, иногда превосходит 50%.

Проведенные исследования показывают, что предложенный обобщенный амплитудно-независимый параметр для неразрушающего контроля прочности с использованием явления механоэлектрических преобразований дает значительно более высокую точность прогноза прочности по сравнению со стандартным механическим методом.

#### Список литературы:

1. Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю. Разработка акустоэлектрического метода определения пористости диэлектрических материалов //Дефектоскопия. 2007. № 2. С. 27-34.
2. Фурса Т.В., Суржиков А.П., Хорсов Н.Н., Осипов К.Ю. Исследование взаимосвязи степени напряженно-деформированного состояния композиционных материалов с параметрами электромагнитного отклика на импульсное механическое возбуждение //ЖТФ. 2006. Т.76, Вып.4. С. 129-132.
3. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Механоэлектрические преобразования при упругом ударном возбуждении композиционных диэлектрических материалов //ЖТФ.2008. Т.78, Вып.4. С.71-76.
4. Суржиков А.П., Фурса Т.В. Способ контроля прочности изделий из твердых материалов// Пат. 2190204 Российская Федерация, МПК7 G 01 N 3/30.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НЕФТЕЙ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Ибрагимов Н.А., Бибишева И.И.

Научный руководитель: Нуртаева Ж.Т., к.х.н.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир-хана,  
090009, Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51

E-mail: [kantar\\_zh@yahoo.com](mailto:kantar_zh@yahoo.com)

Элементный состав нефти – важная характеристика этого вида сырья. Во первых, он несет в себе геолого-геохимическую информацию, указывая, в частности, на возраст нефти, пути и направления ее миграции и скопления. Различия в содержаниях микроэлементов в нефти можно использовать для идентификации нефтяных пластов и рекомендаций по использованию скважин. Во вторых, в ближайшем будущем, ввиду наблюдающейся тенденции обеднения рудных месторождений, нефть может стать сырьем для получения ванадия, никеля, меди, благородных металлов [1].

Установлено, что концентрации микроэлементов в нефтях колеблются в сравнительно широких пределах, а их средние значения снижаются от  $n \times 10^{-3}$  до  $n \times 10^{-8}$  % (масс.) в ряду: V, Fe, Ca, Ni, Na, K, Mg, Al, Hg, Zn, Mo, Cr, Cu, Co, Mn, Ba, Ge, Ag, U, Hf, La, Pb, Au, Be, Ti, Sn. Всего в нефтях обнаружено более 60 микроэлементов [2-5].

Микроэлементный состав нефтей Казахстана, в частности Западного Казахстана, где сосредоточена большая часть нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений республики, практически не изучен. Такие технологические операции, как выделение отдельных элементов из нефтей и нефтепродуктов не проводятся на нефтеперерабатывающих заводах Казахстана и не предусматриваются Казахстанскими нормативными документами. Внедрение на Казахстанских НПЗ технологии по выделению тяжелых металлов и элементов даст возможность не только получить высококачественные нефтепродукты, но и отдельные элементы и дефицитные металлы, чем, заодно, может быть осуществлено безотходное производство. Однако

Таблица 1. Результаты исследования микроэлементного состава нефтей Западного Казахстана методом атомно-абсорбционной спектроскопии

Месторождение нефти	Концентрация микроэлемента, мг/л							
	Cd	Pb	Co	Cr	Zn	Mn	Ni	Cu
Карачаганакское месторождение	0,032	0,01	0,162	не обн	0,407	0,071	не обн	-
Чинаревское месторождение	0,12	0,69	0,195	не обн	0,213	0,01	не обн	0,067

Исследования методом атомно-абсорбционной спектроскопии выявили в составе нефтей наличие таких металлов как Cd, Pb, Co, Zn, Mn, Cu. Одним из недостатков использованного метода ААС является процесс пробоподготовки – озоление исходных проб при высоких температурах, что может приводить к заметным потерям определяемых металлов, как правило, из-за образования летучих

всему этому, несомненно, предшествует глубокое изучение элементного состава нефтей с количественным описанием содержания в них конкретных элементов в конкретных формах.

Анализ элементного состава нефти с целью научного исследования является актуальным и малоизученным вопросом. В данном исследовании определено количественное содержание отдельных элементов в нефтях Западного Казахстана.

Для исследований были отобраны сырые нефти месторождений Западного Казахстана:

- нефть с Карачаганакского месторождения
- нефть с Чинаревского месторождения
- нефть с месторождения Кырык Мылтык

Современными методами контроля содержания микроэлементов в нефтях и нефтепродуктах являются атомно-абсорбционные спектральные методы анализа (ААС). Эти методы позволяют определять металлы в широком диапазоне их концентраций, непосредственно анализировать жидкие пробы после их разбавления подходящим растворителем [6]. Существенно шире возможности в плане селективности, экспрессности, автоматизации, метрологических характеристик у рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Пробоподготовка нефти для ААС заключается в следующих операциях: отбор пробы, обработка концентрированной серной кислотой, декомпозиция пробы, удаление углерода, растворение неорганического остатка [7]. Исследования проведены на атомно-абсорбционном спектрометре Varian AA 140. Калибровка прибора производилась по стандартным растворам металлов в азотной кислоте в диапазоне концентраций 0,5 - 5 мг/л. Результаты исследования приведены в таблице 1.

металлорганических комплексов. Поэтому, для получения более достоверных результатов, исследования проводились и методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе РФА X-Supreme-8000 (Oxford Instruments). Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) широко распространен как в промышленности, так и в науке благодаря своей универсальности, точности и скоро-

сти измерений, а также простоте эксплуатации. Преимуществом РФА является то, что этот метод не требует разложения пробы.

Калибровка прибора проводилась по стандартным растворам металлов в минеральном масле в

диапазоне концентраций 0,15 - 0,30 мг/г, а также по стандартным растворам серы в минеральном масле в диапазоне концентраций 0,5 - 1,0 % (масс). Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты исследования микроэлементного состава нефтей Западного Казахстана методом рентгено-флуоресцентного анализа

Месторождение нефти	Концентрация микроэлемента, мг/г								
	Fe	Pb	Mo	Cr	Zn	Mn	Ni	Cu	S
Карачаганакское месторождение	0,718	0,124	0,020	0,427	2,261	0,539	1,031	3,344	0,758
Чинаревское месторождение	0,747	0,111	0,019	0,483	2,695	0,615	1,308	3,858	0,453
Месторождение Кырык Мылтык	0,804	0,108	0,020	0,481	2,637	0,612	1,144	3,374	0,216

Результаты РФА показали наличие в исследуемом сырье элементов, содержание которых уменьшается в следующем ряду: Cu > Zn > Ni > Fe > S > Mn > Cr > Pb > Mo. Для формирования окончательных выводов об элементном составе исследуемых нефтей необходимы дальнейшие исследования. Однако уже очевидно разнообразие и высокое содержание металлов в этих нефтях. Эти элементы могут оказывать значительное влияние на технологические процессы переработки нефти, вызывая отравление катализаторов. Они снижают качество многих товарных нефтепродуктов, вызывают коррозию оборудования, являются основным носителем зольности котельных топлив. Применение нефтепродуктов из этих нефтей в качестве топлива приводит к выбросу в атмосферу соединений металлов, обладающих токсическим действием, использование их в качестве смазочных масел вызывает коррозию двигателей [8]. С другой стороны, соединения нефти, в состав которых входит основное количество элементов, являются основными источниками вязкости и природными эмульгаторами.

Совокупность вышеперечисленных обстоятельств показывает необходимость и целесообразность изучения элементного состава нефти в интересах целого ряда отраслей народного хозяйства. На основе этих исследований можно будет сделать научно-обоснованный прогноз применения знаний об элементном составе нефтей Западного Казахстана.

#### Литература:

1. Колодяжный А.В., Ковальчук Т.Н., Корвин Ю.В., Антонович В.П. Определение микроэлементного состава нефтей и нефтепродуктов. Состояние и проблемы (Обзор). // Методы и объекты химического анализа. – 2006. – Т.1, №2. – С. 90-104.
2. Бухбиндер Г.Л., Шабанова Л.Н., Гильберт Э.Н. Определение микроэлементов в нефти атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой // Журн.аналит.химии.-1988.-43,№7.-С.1323-1328.
3. Надиров Н.К., Котова А.В., Камьянов В.Ф. Металлы в нефтях.-Алма-ата:Наука,1984.-448с.
4. Мир-Бабаев М.Ф. Микроэлементный состав нефтей по данным нейтронно-активационного анализа. // Хим.технол.топлив и масел. – 1997.-№5.- С.46-47.
5. Алешин Г.Н., Самедов Ф.И., Мир-Бабаев М.Ф., Камьянов В.Ф. Микроэлементный состав высокомолекулярных компонентов нефтей и нефтяных остатков Азербайджана. // Нефтехимия.-1990.-30, №2.-С.175-183.
6. Кюрегян С.К. Атомный спектральный анализ нефтепродуктов. - М: Химия, 1985. -319 с.
7. ASTM D5863-00a(2005). Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, Iron, and Sodium in Crude Oils and Residual Fuels by Flame Atomic Absorption Spectrometry.
8. Дияров И.Н., Батуева И.Ю., Садыков А.Н., Солодова Н.Л. Химия нефти.- Л.:Химия,1990.-240с.

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕТАТРОНА С ДУАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ

Касьянов С.В., Ковалев М.К.

Научный руководитель: Ефимов П.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [kovalev@tpu.ru](mailto:kovalev@tpu.ru)

### ВВЕДЕНИЕ

Любое государство, вне зависимости от политического строя и географического положения, не застраховано от трансграничной и внутренней преступности. Вот почему безопасность страны, защита права граждан на жизнь и здоровье, противодействие терроризму - первоочередные задачи, которые стоят сегодня не только перед Россией, но и перед всем мировым сообществом. Решить их можно только при соответствующем уровне развития технологий, которые позволяют государственным органам эффективно бороться с преступностью и терроризмом.

Современная экономика характеризуется возрастанием потока товаров между государствами, который усиливается из-за особого географического положения Российской Федерации. Важной задачей государственных органов является контроль за перемещением грузов. Особое внимание уделяется выявлению незадекларированных товаров и запрещенных к перемещению через границу, без наличия особых разрешительных документов, веществ - наркотических, взрывчатых, ядовитых, радиоактивных. [1]

Одно из важнейших мест среди технических средств досмотрового контроля занимают комплексы цифровой рентгенографии. Метод цифровой рентгенографии отличает высокая информативность, основанная на возможности визуализации структуры объекта контроля, с выявлением и идентификацией материала недопустимых локальных вложений и их геометрического положения. В комплексах цифровой рентгенографии крупногабаритных объектов в качестве источника фотонов используют линейные ускорители и бетатроны. К достоинствам малогабаритных бетатронов относятся небольшая масса и размеры, а также малая стоимость производства. В связи с этим, малогабаритные бетатроны становятся незаменимыми источниками излучения для применения их в мобильных досмотровых комплексах.

### ДУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГИИ

Метод двухэнергетической цифровой радиографии широко применяется в досмотровых системах. Его основным преимуществом по сравнению с одноэнергетическим методом является способность различать вещества в соответствии с их атомным номером  $Z$ . Классификация материала достигается путем сравнения поглощения на двух энергиях. Коэффициенты ослабления органических (с малым  $Z$ ) и неорганических (с относительно большим  $Z$ ) веществ существенно различаются. [2]

Однако, атомные номера и массовые толщины составных частей контролируемого объекта (типично для произвольного распределения груза в транспортном контейнере) не могут быть определены однозначно. Из данных по ослаблению для высокой и низкой энергии излучения определяется лишь некоторое эффективное значение атомного номера. Поэтому задача распознавания состава рассматривается не как идентификация материалов, а как распределение групп материалов по эффективному  $Z$ . Так, например, для целей таможенной инспекции желательным является распознавание четырех основных групп:

- легкие или «органические» материалы с атомным номером ( $1 < Z < 10$ );
- материалы с малым атомным номером ( $10 < Z < 20$ );
- «неорганические» материалы со средним ( $20 < Z < 50$ );
- тяжелые металлы с высоким атомным номером ( $Z > 50$ ).

В телевизионных системах визуализации технология с использованием палитры из трех цветов была создана более 20 лет назад и на сегодняшний день является устаревшей. Современные системы для досмотра ручной клади используют шестицветную палитру для отображения предметов с различным эффективным атомным номером. [3]

Обычно в установках, работающих в режиме дуальных энергий, используется рентгеновское излучение с граничной энергией спектра до 200 кэВ. Это обусловлено тем, что в данном энергетическом диапазоне существует сильная зависимость полного коэффициента ослабления гамма-квантов от атомного номера вещества в силу преобладания фотоэлектрического поглощения над остальными типами взаимодействия. Однако проникающая способность низкоэнергетического рентгеновского излучения ограничена несколькими сантиметрами в стали, что исключает возможность его применения для инспекции крупногабаритных контейнеров и транспортных средств. Теневые радиоскопические изображения высокого качества таких объектов достижимы лишь при использовании высокоэнергетического тормозного излучения с граничной энергией до 10 МэВ, генерируемого электронными ускорителями.

Метод дуальной энергии в высокоэнергетическом диапазоне 4 - 10 МэВ также может быть использован для распознавания материалов. Использование метода в данном энергетическом диапазоне затруднено в силу ограничений, связанных с физикой взаимодействия гамма-квантов с веществом. Доминирующим типом взаимодействия гам-

ма-квантов с веществом в этом диапазоне вместо фотоэффекта становится комптоновский эффект с его слабой зависимостью ослабления от атомного номера материала, что обуславливает незначительную вариацию поглощения тормозного излучения для разных материалов, в основном связанную с проявлением эффекта рождения электрон-позитронных пар как третьего типа взаимодействия. Этот слабый эффект ранее считался недостаточным для распознавания веществ в практических целях. По-видимому, поэтому мировой рынок высокоэнергетических таможенных систем представлен в основном установками с одной энергией. [4]

#### ПРОЕКТ «ТЕРМИНАЛ»

Тем не менее, не смотря на вышеописанные затруднения, в ИНК НИ ТПУ разрабатывался проект «Терминал», где была рассмотрена возможность работы источника в режиме дуальной энергии для определения типа просвечиваемого вещества по изменению толщины слоя половинного ослабления плотности при изменении энергии источника.

Для определения целесообразности создания радиометрических дефектоскопических и досмотровых систем с возможностью определения типа контролируемого вещества (его плотности и химического состава), был проведен ряд экспериментов с поглотителями, имитирующими различные типы веществ. Для экспериментов использовались следующие поглотители: сталь, мыло хозяйственное (в качестве имитатора взрывчатого вещества), и бетон.

Источник тормозного излучения выступал бетатрон МИБ - 7,5 с максимальной энергией ускоренных электронов 7,5 МэВ, частотой следования импульсов 200 Гц и мощностью дозы 7.8 - 8.0 Р/мин. Энергия ускоренных квантов менялась от 2 до 7.5 МэВ с шагом 0.5 МэВ.

В качестве регистрирующего устройства использовался линейный детектор TSNK-lab, имеющий 64 детектора (сцинтиллятор CsI + фотодиод) с апертурой  $6 \times 6 \text{ мм}^2$  и регистрирующей длиной 20 мм. [5]

Результаты, полученные на данном этапе, требуют дальнейшей разработки.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время проектируется досмотровый комплекс на базе бетатрона с дуальной энергией, где максимальная энергия ускоренных электронов составляет 9 МэВ. Данный бетатрон имеет возможность работы в режиме дуальных энергий в диапазоне 4 - 9 МэВ.

Планируется провести ряд экспериментов с использованием дуальных энергий во всем возможном диапазоне. В качестве имитаторов веществ будут использованы материалы со значениями атомных номеров из 4-6 различных групп. Примерами таких материалов могут быть: дерево, бумага, стекло, алюминий, сталь и свинец.

Проведение данного эксперимента и последующая обработка полученных данных в значительной степени может повысить способность к выявлению и распознаванию скрытых вложений в крупногабаритных объектах при их досмотре на разрабатываемом комплексе.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Касьянов С.В. Формирование изображений в цифровых рентгенографических системах на основе источников высокоэнергетичных фотонов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск - 2010г.

2 Развитие работ по созданию рентгеновских и ядерно-физических инспекционных комплексов в НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. Ю.А. Свистунов, М.Ф. Ворогушин, В.И. Петрунин, А.В. Сидоров, Ю.Н. Гавриш. Problems of atomic science and technology. 2006. № 3.

3 Огородников С.А. Распознавание материалов при радиационном таможенном контроле на базе линейного ускорителя электронов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург - 2002г.

4 Щетинкин С.А., Чахлов С.В., Усачев Е.Ю. Использование метода двуэнергетической цифровой радиографии для портативных рентгеновизионных систем.

5. Касьянов В.А. Разработка источника излучения и формирования пучка для мобильных досмотровых систем. Отчет о НИР. Томск - 2004г.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Колмакова Н.Н., Бабилов С.А.

Научный руководитель: Клименов В.А. д.т.н., профессор.  
«Национальный исследовательский» Томский политехнический университет»

E-mail: [Natalya.Kolmakova.88@mail.ru](mailto:Natalya.Kolmakova.88@mail.ru)

За последние годы большое развитие для целей неразрушающего контроля качества материалов, заготовок, сварки, парки, литья и других технологических процессов получили методы радиационной интроскопии.

Основным достоинством этого контроля по сравнению с радиографическим методом является его высокая производительность, позволяющая получить светотеневую картину неоднородностей материала непосредственно в момент его просвечивания.

В настоящее время в связи с широким распространением пластмасс, керамики, легких сплавов для изготовления изделий приборостроения, медицины и других отраслей промышленности возникает актуальная проблема технологического неразрушающего контроля материалов малой плотности при изготовлении деталей.

Эта проблема достаточно успешно может быть решена методами рентгеновской интроскопии в диапазоне энергий мягкого рентгеновского излучения. Однако, в данном диапазоне энергий излучения, возникают задачи повышения чувствительности систем интроскопии, поскольку большая доля рассеянного излучения и отсутствие селективной чувствительности преобразователей излучения не позволяют получать рентгеновские изображения с высоким контрастом.

Для решения этой задачи необходимо выбрать оптимальные режимы контроля, позволяющие обеспечить наилучшую чувствительность метода. К режимам контроля материалов, деталей и узлов изделий относятся энергия и интенсивность применяемого излучения, расстояние от контролируемого объекта до преобразователя излучения, фокусное расстояние, ток фокусирующей катушки.

Для радиоскопического контроля выбрали источник, обеспечивающий наибольшую интенсивность излучения на поверхности преобразователя излучения и наименьшую геометрическую нерезкость.

По всем необходимым параметрам для контроля объектов малой плотности подходит рентгеновский аппарат РАП-160-5.

Необходимый диапазон энергий излучения выбирали в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по таблице, устанавливающей область применения радиоскопического метода контроля. [1]

Как показывает теория, с увеличением толщины контролируемого материала увеличивается поглощение в нем рентгеновского излучения, в результате чего яркость изображения уменьшается и, следовательно ухудшается выявляемость дефектов. Чтобы сохранить яркость изображения, при которой обеспечивается наилучшая выявляемость дефектов, необходимо повысить мощность дозы излучения за контролируемым материалом.

Повышение мощности дозы излучения и улучшение тем самым чувствительности метода осуществляется, в первую очередь, путем увеличения анодного тока трубки. Т.к. в работе использовался максимально допустимый ток для 0,5БпМ9-160 рентгеновской трубки. Повышение мощности дозы излучения осуществлялось путем увеличения анодного напряжения. С ростом толщины материала это напряжение увеличивается, а абсолютная чувствительность ухудшается, что приводит к ухудшению выявляемости дефектов из-за снижения контраста изображения дефектов.

На величину напряжения большое влияние оказывает также и изменение плотности контролируемого материала. [2]

Установлено, опытным путем, что для просвечивания титановых сплавов толщиной 4-5 мм при фокусном расстоянии 1мм с использованием рентгеновской трубки 0,5БпМ9-160 необходимо напряжение 80 кВ, для просвечивания алюминиевых сплавов той же толщины напряжение составляет 70 кВ

Анодный ток рентгеновской трубки выбираем максимально возможным для данного типа рентгеновской трубки; ток фокусирующей катушки острофокусной рентгеновской трубки определили заранее по наилучшей четкости изображения просвечиваемого проволочного эталона для всех напряжений на рентгеновской трубке.

Так же чувствительность радиоскопии к дефектам определяется эффективностью регистрации его экраном, разрешающей способностью и спектральным составом свечения флуороскопического экрана.

Известны многие материалы, флуоресцирующие под действием ионизирующего излучения, но наилучший компромисс между поглощением и пространственным разрешением может быть получен только с применением материалов с большим атомным номером и высокой плотностью. Т.к. для проведения контроля используем энергию мягкого рентгеновского излучения, возникают задачи повышения чувствительности систем интроскопии, поскольку большая доля рассеянного излучения и отсутствие селективной чувствительности преобразователей излучения не позволяют получать рентгеновские изображения с высоким контрастом. Поставленная задача достигалась поиском люминесцентного экрана путем подбора нагрузки люминофоров обеспечивающих оптимальные параметры яркости и разрешающей способности для выбранного диапазона рентгеновского излучения. А также уменьшением влияния рассеянного излучения на изображение. Был выбран поликристаллического экрана из CsI(Tl), удовлетворяющего всем требованиям.

Разрешающая способность в нашем случае определяется визуально с помощью прямоугольных свинцовых миш.

### Проведение контроля.

Конструктивно интроскоп выполнен в виде двух основных блоков: рентгеночувствительного, который устанавливается совместно с объектом контроля и рентгеновским аппаратом, и компьютера, который находится в радиационно-безопасной зоне. Работа интроскопа состоит в представлении рентгеновского изображения, модулированного объектом контроля, на экране монитора компьютера.

Схема рентгеновского контроля с применением интроскопа приведена на рисунке 1. В качестве излучателя используется рентгеновский аппарат РАП-160-5. Рентгеновское излучение, прошедшее через объекты контроля, а именно алюминий и титан, попадает на экран-преобразователь, формирующий видимое изображение, которое, в свою очередь, регистрируется высокочувствительной ПЗС-камерой.

ПЗС-камера накапливает (суммирует) изображение, наблюдаемое на экране-преобразователе, и передает его в компьютер, где с помощью специальной программы формируется рентгенограмма - изображение внутренней структуры просвечиваемого объекта.



Рисунок 1 - Схема рентгеновского контроля качества изделий

В качестве преобразователя излучения использовали поликристаллический экран из иодида цезия, активированного таллием, CsI(Tl), монокристаллический экран и ЭОП.

В ходе проведенных экспериментальных работ было обнаружено, что наилучшие результаты при контроле литых деталей из сплава на основе Al толщиной 3-5 мм получаются при использовании рентгеновского аппарата РАП-160М-5 с размером фокуса 1,2x1,2 и поликристаллического экрана из CsI(Tl), удовлетворяющего всем требованиям. Чувствительность контроля с использованием конавочного эталона составила 2,8%.

Применение ЭОП при тех же условиях, приводит к ухудшению выявляемости дефектов, что объясняется потерями контраста, обусловленными в основном облучением выходного экрана ЭОП рентгеновским излучением, засветками выходного экрана све-

том рентгеновского люминофора, отраженным от внутренних поверхностей ЭОП, а также полным внутренним отражением на стекле выходного экрана.

В случае с титаном, хоть мы его и относим к легким сплавам, но при этом он имеет высокую плотность по отношению к алюминию, возникла необходимость увеличения нагрузки на люминофор. Из-за дальнейшего увеличения нагрузки поликристаллического люминофора, теряется разрешающая способность, связанная с большим светорассеянием внутри слоя люминофора. Решением этой проблемы является использование интроскопа с монокристаллическим экраном.

Монокристаллические экраны в настоящее время являются одними из наиболее эффективных преобразователей излучения, используемых в радиационной интроскопии. Эти свойства монокристаллических экранов обусловлены практически полным поглощением излучения, падающего на поверхность экрана и высокой эффективностью преобразования энергии излучения в свет рентгенолюминесценции. В результате рентгеновское изображение, формирующееся на экране, обладает максимальной информационной емкостью, которая не достижима для интроскопов с преобразователями малой толщины, например, для РЭОПов. Интроскопы на основе подобных экранов позволяют получать чувствительность до 0,6 % и разрешающую способность до 5 пар линий/мм.

Анализируя экспериментальные данные, можно констатировать, что при контроле материалов с малой плотностью в зависимости от качества применяемых узлов и элементов радиационные интроскопы, использующие флюороскопические экраны, сцинтилляционные кристаллы и ЭОП, позволяют обеспечивать чувствительность метода радиационной интроскопии, практически сравнимую с чувствительностью радиографического метода контроля.

### Список литературы:

1. ГОСТ 20426-82 Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. Н.В. Клюева. Т.1: Кн. 2. Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. – 2-е изд., испр. – М.; Машиностроение, 2006.- 560 с.: ил.
3. Кулешов В. К., Сертаков Ю. И., Ефимов П. В., Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики. Томск: Издательство Томского Политехнического университета, 2007.-341 с

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Кононов Ю.М., Иванов Е.Н.

Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [association@sibmail.com](mailto:association@sibmail.com)

Планирование применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН) является сложной задачей, требующей комплексного подхода при ее решении. Без оптимизации условий выбора технологий для внедрения на конкретном участке нельзя в полной мере реализовать возможности МУН. На нынешнем этапе развития подбор имеющихся технологий МУН для конкретных геологических объектов является важнейшей и в то же время слабо изученной проблемой. В России до сих пор очень слабо распространены методы и программы подбора необходимых МУН, созданных для геологических условий интересующего нас объекта [1]. Более того, процесс подбора оптимальной технологии воздействия значительно усложняется за счет неоднозначности критериев выбора оптимального метода для конкретных геолого-физических характеристик пласта.

Для решения таких задач все большее применение в мировой практике находят экспертные системы и технологии искусственного интеллекта. Большинство программ успешно развиваются и применяются за рубежом. Методики и программное обеспечение для аналитического моделирования успешно используются в многочисленных проектах в таких странах, как США, Мексика, Венесуэла, Колумбия, Египет и др. [2].

Важной проблемой является установление жестких границ для критериев применимости МУН, что может привести к рискам и ошибкам при выборе технологии воздействия. Обычно выбор МУН происходит путём анализа геолого-физических свойств по принципу «подходит – не подходит». Это осуществляется путём сопоставления усредненных характеристик пласта с табличными критериями применимости, выработанными ранее на основе мирового и отечественного промышленного опыта. Зачастую при выборе МУН не учитывается опыт частично успешного применения технологий в случаях, когда значения свойств нефтяных пластов выходят за пределы критериев применимости и не всегда учитываются погрешности измерений при формировании интервалов применимости, что в итоге может привести к принятию ошибочного решения.

Для преодоления проблем, возникающих при использовании строгих границ применимости методов предлагается использовать нечёткую логику (Fuzzy Logic)[3], чтобы получить более реалистичные результаты. Нечёткая логика

используется для анализа сложных систем, в которых существенную роль играет знание и опыт человека и где затруднительно применение традиционных количественных методов.

Нечёткая логика является расширением обычной Булевой логики, в ней значения "истина" и "ложь" заменяются значениями функции на отрезке от 0 до 1. Функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале  $[0...1]$ , а не только 0 или 1, такие множества называются нечёткими. Нечёткая логика часто используется в экспертных и самообучающихся системах, системах управления устройствами и технологическими процессами, а также в системах распознавания образов.

Под нечётким множеством  $A$  понимается совокупность  $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ , где  $X$  – универсальное множество, а  $\mu_A(x)$  – функция принадлежности элемента  $x$  множеству  $A$ , характеризующая степень принадлежности значения  $x$  нечёткому множеству  $A$ . Значение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  для элемента  $x \in X$  будем называть степенью принадлежности элемента  $X$  множеству  $A$ . Также в нечеткой логике вводится понятие лингвистической переменной, значениями которой являются не числа, а слова естественного языка, называемые термами, каждому терму соответствует нечёткое множество. Для физической реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения термов этой переменной, которые могут задаваться различными функциями. На рисунке 1 показан пример функции принадлежности нечёткого значения (терма) «около 10» с использованием треугольной функции.

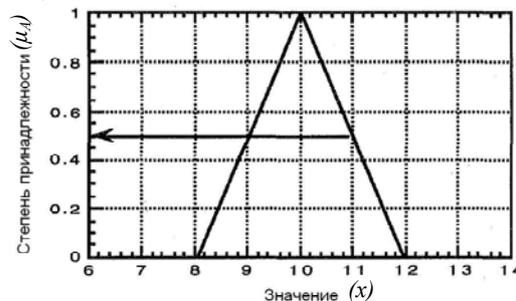


Рис. 1. Функция принадлежности нечёткого значения «около 10»

Пластовые системы вместе с насыщающими их флюидами представляют классический пример сложной системы, в которой физическая неопределенность объекта связана как со стохастической неопределенностью (ситуация случайности), так и

с принципиально невозможным точным определением вполне определенных физических параметров среды, выполняемых физическими приборами (ситуация нечеткости). Все это позволяет отнести пластовые объекты к классу нечетких сред, а решение задачи выбора МУН – к принятию решения в нечеткой среде. С помощью теории нечетких множеств можно количественно оценить такие категоричные понятия, как "очень хороший" или "очень плохой", что особенно важно в задачах типа выбора метода воздействия, когда параметры пласта отличаются в ту или иную сторону от критериев применимости [4].

Таким образом, для оперативного анализа геолого-физической информации с целью выбора потенциальных месторождений для внедрения МУН была разработана электронная матрица применимости [6]. Матрица применимости разработана на основе критериев применимости, обобщенных по данным отечественной и мировой литературы [5, 7]. Методы увеличения нефтеотдачи, заложенные в программе, относятся к нескольким группам: гидродинамические, термические, химические, закачка полимеров, щелочей, потокоотклоняющие технологии, газовые, водогазовое воздействие, термогазовое воздействие. Входными данными для матрицы является стандартный набор геолого-физической информации: тип резервуара, глубина залегания, проницаемость, пористость, температура, вязкость и другие.

Задание в матрице граничных значений для вычисления коэффициентов применимости происходит по нечеткой логике, подразумевающий для значений доверительный интервал. Для каждого геолого-физического параметра в методах используется индивидуальная функция применимости. К примеру, если для одного из методов интервал применимости, скажем, по вязкости, лежит в пределах от 5 до 8 сП, то значения 4 и 9 сП из-за небольших отклонений не должны исключаться из оценки, так как всегда присутствует ошибка измерения свойств.

В итоге, погрешность измерений и опыт применения технологий формирует данный доверительный интервал. Исследуемым коллекторам, значения свойств которых попадают в доверительный интервал, присваивается более низкий коэффициент по функции. В результате работы программы возможно произвести оценку применимости методов и получить оперативные графики «методы – коэффициенты применимости», а также лепестковые диаграммы с визуализацией интервалов применимости.

Кроме того, в матрице применимости заложена база данных использования МУН более чем по 300 проектам. При вводе данных по пласту возможен поиск месторождений-аналогов по применяемым

методам и использование опыта предшествующей разработки. На основе заложенной в матрице базы данных, возможно формировать критерии применимости путём анализа успешных проектов применения МУН.

По сравнению с логическими и вычислительными методами принятия решений при использовании методик оценки применимости МУН методами нечёткой логики не предъявляются строгие требования к точности, полноте и непротиворечивости исходных данных.

Заложенные в программе критерии и использование нечеткой логики для оценки МУН позволяют получить более адекватную оценку применимости каждого из методов и снизить риски при выборе технологии воздействия.

#### Список литературы:

1. Муслимов Р.Х. КИН – его прошлое, настоящее и будущее на месторождениях России // Бурение и нефть. – 2011. – №2. – С.21-25.
2. Альваро В., Манрик Э. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. – М.: Премиум Инжиниринг, 2011. – 244 с.
3. Ting-Horng Chung, Herbert B. Carroll, Lindsey R. Application of Fuzzy Expert Systems for EOR Project Risk Analysis // SPE paper 30741-MS, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Oct. 22–25, 1995. – Dallas, Texas, 1995. – 9 p.
4. Ерёмин Н.А., Золотухин А.Б., Назарова Л.Н., Черников О.А. Выбор метода воздействия на нефтяную залежь. Учебное пособие. Под ред. И.Т. Мищенко. М., ГАНГ, 1995.- 190 с.
5. Taber J.J., Martin F.D., Seright R.S. EOR Screening Criteria Revisited - Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects // SPE Reservoir Engineering. – 1997. – V.12. – № 3. – P. 189–198.
6. Иванов Е.Н., Кононов Ю.М., Мухамадиев Р.В. Разработка методики выбора методов увеличения нефтеотдачи на нефтяных месторождениях на основе геолого-физической информации // Увеличение нефтеотдачи – приоритетное направление воспроизводства запасов углеводородного сырья: Сборник трудов Междунар. научно-практ. конф. (г.Казань, 7-8 сентября 2011 года) – Казань, 2011, с. 229-232.
7. Муслимов Р.Х. "Планирование дополнительной добычи и оценка эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов". – Казанский Государственный Университет, Пресс 1999.

## РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ АДМИНИСТРАЦИИ ГОРОДА ТОМСКА

Кулешова Д.И., Краюшкина О.А., Фоминых Е.В.

Научный руководитель: Агишева Г.А., старший специалист УСП Администрации Города Томска  
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

### Введение

В современном мире можно наблюдать устойчивую тенденцию роста спроса на информационные системы организационного управления. Также можно сказать, что базы данных в том или ином виде сейчас присутствуют на каждом предприятии. Но, подчас, они практически не автоматизированы. В данной работе рассматривается вопрос о преобразовании структуры существующей базы данных и интеграции информационной системы для Управления социальной политики Администрации Города Томска.

### Постановка задачи

Управление социальной политики Администрации Города Томска осуществляет реализацию мер социальной поддержки отдельным категориям граждан. Такими мерами могут являться выделение земельных участков льготным категориям граждан, адресная социальная помощь и др. Все данные по обратившимся гражданам хранятся в базах, которые представляют собой как многостраничные документы формата \*.doc, так и множество файлов содержащих текстовые и табличные документы и бумажные носители. Данная форма хранения зачастую не позволяет достаточно своевременно и без вмешательства сотрудников осуществлять работу с обращениями граждан. Например, невозможно осуществить поиск информации по нескольким критериям. Все данные для итоговых отчетов считаются и составляются работниками вручную в виде текстовых шаблонов. Также нельзя быть уверенным в полной достоверности данных, т. к. отсутствует механизм транзакций, т.е. при одновременной работе с базой нескольких сотрудников трудно отследить корректность информации.

Таким образом, перед разработчиками стоит задача разработки интегрированной информационной системы, отвечающей следующим требованиям:

- возможность построения запросов к информационной базе единой информационной системы в терминах предметной области;
- сохранение построенных запросов;
- поиск, редактирование и повторное выполнение сохраненных запросов;
- создание условий выборки;
- создание сортировки данных;
- отображение результатов запросов в виде отчетов в списковой и сводной формах;
- сохранение отчетов, полученных в результате выполнения запросов;

— своевременное обновление структуры данных;

— осуществление доступа к базе данных по паролю, предоставляемому администратором, для обеспечения защиты информации, представляющей секретные данные.

### Определение среды и языка разработки

Следующим шагом при проектировании информационной системы стали выбор среды и языка разработки.

Было рассмотрено несколько возможных вариантов СУБД: MS Access, Oracle, MS SQL Server Express Edition и MySQL. Можно сказать, что по критериям ограниченности финансовых ресурсов и предполагаемых размеров базы данных оптимальным вариантом была выбрана СУБД MySQL. [1, 2, 3] Она распространяется бесплатно и позволяет работать с достаточно объемными базами данных. Сама база данных будет храниться на сервере XAMPP, который также распространяется свободно.

Пользователи должны иметь возможность по локальной сети взаимодействовать с рассматриваемой информационной системой. Таким образом, при выборе языка разработки из вариантов Java, C# и PHP был выбран последний, потому что он имеет ряд важных преимуществ:

— PHP – HTML-встроенный скриптовый язык, а это позволяет создавать динамически генерируемые страницы быстро и легко;

— обработка кода происходит на стороне сервера, следовательно, пользователь получает только конечный вариант отображения работы скрипта;

— скорость;

— кроссплатформенность;

— загрузка только нужных include файлов, т.е. занятие минимально необходимого объема памяти.

Одним из ключевых факторов выбора PHP можно назвать хорошую интеграцию этого языка с MySQL. Это является важным преимуществом, учитывая, что именно эта СУБД была выбрана для разработки рассматриваемой информационной системы.

### Описание работы информационной системы

Рассматриваемая информационная система создается для использования Управлением социальной политики Администрации Города Томска, в которое обращаются граждане, относящиеся к

отдельным категориям граждан, которые имеют права на некоторые социальные льготы. Например, к таким категориям относятся инвалиды, многодетные семьи ветераны ВОВ и др.

Сотрудники управления, непосредственные конечные пользователи разрабатываемой системы, должны заносить информацию об обратившихся гражданах, желающих получить единовременную материальную помощь или земельный участок под индивидуального строительства.

Каждый сотрудник имеет свои права доступа, логин и пароль, которые будут запрашиваться при попытке входа в систему. Это подразумевает, что определенный пользователь не сможет увидеть информацию о гражданах, не относящуюся к решаемому им вопросу.

Разрабатываемая информационная система будет иметь полный функционал, необходимый для работы с заявлениями граждан. Это значит, что она будет позволять просматривать и редактировать информацию в карточке гражданина, предотвращать повторную подачу заявления на предоставления меры социальной поддержки, противоречащей положениям, постановлениям и законам. Одной из важных функций системы будет являться возможность отслеживания того, чтобы частота подачи заявлений на различные виды мер социальной поддержки не нарушала закон. [4] Так же данная информационная система будет иметь возможность создавать разнообразные необходимые отчеты, например, о количестве многодетных семей стоящих в очереди на землю, или о количестве школьников, которые получают компенсационные выплаты из муниципального бюджета Города Томска через Управление социальной политики Администрации Города Томска.

В предметной области существует важная проблема, связанная с тем, что в имеющейся очереди граждан на выделение земли могут происходить изменения из-за отказа гражданина от предложенного ему участка. В этом случае номер очереди гражданина остается прежним, но по закону он уже не имеет права претендовать на выделение ему земли до окончания текущего календарного года, а участок переходит к следующему по очереди. С начала же нового календарного года этот гражданин имеет первоочередное право на получение предоставляемых участков.

Таким образом, в создаваемой информационной системе очередь на право получения земельного участка должна иметь двойную нумерацию: динамическую, которая будет меняться, учитывая

отказ гражданина от предложенного ему варианта, и статическую, которая будет показывать, под каким порядковым номером заявление данного гражданина было занесено в базу данных.

Также отдельное внимание будет уделено безопасному хранению и передаче данных. Например, чтобы снизить вероятность ошибки в данных, обусловленной человеческим фактором, система будет блокироваться и требовать повторно ввести логин и пароль, если на протяжении некоторого количества времени в системе не производится никаких действий.

#### **Заключение**

Таким образом, можно сказать, что в результате функционирования такого универсального инструмента, как разрабатываемая интегрированная информационная система, конечные пользователи будут иметь возможность оперативно работать с общей и детальной информацией по любым объектам предметной области в виде запросов и отчетов с помощью простого и удобного интерфейса.

#### **Список литературы:**

1. Электронный ресурс: Microsoft Store Россия // URL: [http://www.microsoftstore.ru/shop/ru-RU/Microsoft/Office-professionalnyj-2010-\(russkij\)](http://www.microsoftstore.ru/shop/ru-RU/Microsoft/Office-professionalnyj-2010-(russkij)) (дата обращения: 22.01.2012).
2. Электронный ресурс: URL: [http://www.syssoft.ru/e-store/catalog/detail.php?IBLOCK\\_ID=16&SECTION\\_ID=2977](http://www.syssoft.ru/e-store/catalog/detail.php?IBLOCK_ID=16&SECTION_ID=2977) (дата обращения: 22.01.2012).
3. Электронный ресурс: URL: [http://www.syssoft.ru/e-store/catalog/detail.php?IBLOCK\\_ID=16&SECTION\\_ID=7527](http://www.syssoft.ru/e-store/catalog/detail.php?IBLOCK_ID=16&SECTION_ID=7527) (дата обращения: 22.01.2012).
4. Федеральный закон от 14 июня 2011 г. N 138-ФЗ "О внесении изменений в статью 16 Федерального закона "О содействии развитию жилищного строительства" и Земельный кодекс Российской Федерации" // Собрание законодательства Российской Федерации. – 20 июня 2011 г. – №25. Ст. 7911.

## ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Я. А. Маркина,

Руководитель - М. М. Чухланцева, к.т.н., профессор РАЕ  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [Markina@tambo.ru](mailto:Markina@tambo.ru)

### Введение

Вопросы метрологического обеспечения (МО) средств измерений (СИ) с каждым днем приобретают все большую актуальность, но наиболее остро эти вопросы встают при МО измерительных систем (ИС), как локальных так и глобальных. Колоссальная сложность МО ИС заключается в том, что у пользователей ИС, стремящихся к постоянному улучшению, ежедневно возникают желания возложить на ИС все новые и новые функции, что приводит к постоянной непрекращающейся модернизации ИС. В связи с постоянным техническим прогрессом, нормативная документация и различные методические документы не успевают совершенствоваться и идти в ногу со временем, что приводит к большим трудностям при МО ИС.

Поэтому данная статья посвящена анализу проблем и вопросов, которые актуальны на сегодняшний день в части МО ИС.

### Понятие ИС

В соответствии с ГОСТ Р 8.596-2002 [1] под ИС понимается совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих измерительные каналы (ИК), и вспомогательных устройств (компонентов ИС), функционирующих как единое целое, предназначенной для:

- получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований в общем случае множества изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин, характеризующих это состояние;
- обработки результатов измерений;
- регистрации и индикации результатов измерений и результатов их обработки;
- преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях.

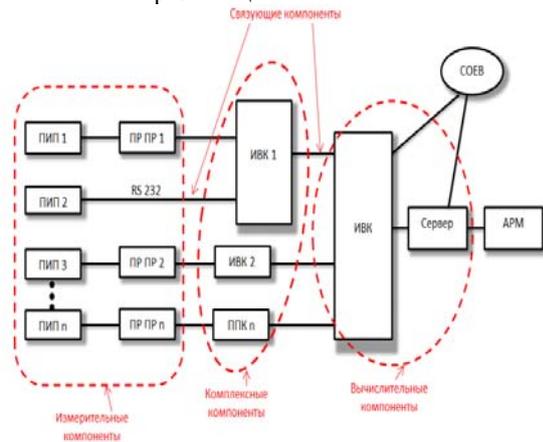


Рисунок 1 - Общая структурная схема ИС

где, ПИП – первичный измерительный преобразователь;

ПР ПР – промежуточный преобразователь;

ППК - программируемый комплекс;

ИБК – измерительно-вычислительный комплекс.

### Проблемы МО ИС

На сегодняшний день в ИС остаются актуальными следующие вопросы, которые требуют решения:

- низкая контролепригодность ИС, следствием которой является очевидное противоречие: мощные возможности автоматизации самой ИС, с одной стороны, и большой объем непроизводительного ручного труда при испытаниях ИС - с другой;
- недопустимость не только демонтажа некоторых компонентов для проведения поверки в нормальных условиях, но даже временной остановки части ИК ИС для проведения технического обслуживания;
- реализация функций ИС на время контроля ее МХ;
- противоречие между модернизацией и статусом ИС;
- нормирование метрологических характеристик (МХ) ИК и методы нормирования МХ ИК;
- упрощение процедуры утверждения типа ИС после её модернизации и расширения;
- проблема оформления результатов первичной поверки после ремонта;
- проблема МО ПО ИС;
- решение вопросов метрологической аттестации алгоритмов и программ;
- проблема назначения и корректировки межповерочных интервалов ИС и т.д.

Далее рассмотрим более подробно проблемы нормирования и расчета МХ ИК.

### Проблема нормирования и расчета МХ ИК

Под нормированием МХ понимается установление границ на допустимые отклонения реальных МХ СИ от их номинальных значений. Только посредством нормирования МХ можно добиться их взаимозаменяемости и обеспечить единство измерений. Реальные значения МХ определяют при изготовлении СИ и затем проверяют периодически во время эксплуатации. Если при этом хотя бы одна из МХ выходит за установленные границы, то такое СИ либо подвергают регулировке, либо изымают из обращения.

В соответствии с ГОСТ 8.009-84 [2] для СИ нормируются основная (в нормальных условиях) и дополнительные (как функции влияния влияющих величин) погрешности, теоретически для многих типов ИК ИС (реализующих, например, прямые методы измерений) могут быть рассчитаны МХ по МИ 222-80 и МИ 2168-91 и установлены соответствующие для них нормы. Однако данных, требуемых для расчета, на практике обычно недостаточно.

Проблема заключается в том, что:

- 1) Нормирование МХ СИ может отличаться как по номенклатуре характеристик и способам их нор-

мирования, так и по совокупности подлежащих нормированию функций влияния влияющих величин;

2) Нормирование дополнительных погрешностей СИ проводится лишь для ограниченного числа влияющих величин, воздействие же части влияющих величин не учитывается. Другими словами, отсутствие тех или иных функций влияния в номенклатуре нормируемых МХ СИ не говорит о том, что такое влияние действительно отсутствует (или пренебрежимо мало). При этом воздействие влияющих величин проверяется лишь при типовых испытаниях на ограниченном количестве образцов и при эксплуатации более не проверяется. При этом результаты типовых испытаний распространяются на все СИ данного типа, выпускаемые данным изготовителем в течение следующих нескольких лет. Очевидно, что достоверность таких функций влияния весьма и весьма невысока;

3) Нормирование функций влияния осуществляется лишь для величин, действующих на СИ отдельно, хотя, в действительности, они воздействуют одновременно. Возникающая при указанных причинах погрешность адекватности модели (от взаимного влияния факторов) не учитывается (и не оценивается) в действующем документе РД 50-453-84 [3], а потому не позволяет достоверно рассчитать погрешность СИ в фактически сложившихся рабочих условиях эксплуатации.

4) Территориальная распределенность ИС приводит к тому, что её измерительные компоненты могут находиться в различных индивидуальных для каждого компонента условиях эксплуатации. Вместе с тем методы расчёта погрешности должны учитывать возможную корреляцию изменений самих влияющих величин, воздействующих на различные компоненты ИК ИС.

5) Иногда возникают ситуации, когда в состав ИК ИС требуется включить СИ, не утверждённых типов. Тогда, в этом случае, логично утверждение как типа СИ в составе ИК, но эта процедура не регламентирована в нормативных документах НД [3]. На практике применяется.

6) В рекомендации МИ 2439 [4] в качестве МХ ИК (нормируемых или определяемых расчетом) требуется указывать характеристики линии связи, если она не входит в состав комплектующих компонентов ИС при выпуске с завода-изготовителя и появляется как компонент ИС только при монтаже на объекте. В настоящее время отсутствует единый подход к оценке границ погрешности, вносимой в результат изме-

рений различными типами линий связи и каналообразующей аппаратурой (проводная ЛС, телефонная ЛС, радиоканал и т.д.).

7) Не регламентированы требования, предъявляемые к системам обеспечения единого времени (СОЕВ) и способы реализации СОЕВ (по сигналам системы GPS (Global Positioning System), с использованием эталонных сигналов времени, передаваемым радиостанциями государственной службы времени и частоты РФ и т.д.) [5].

#### **Заключение**

В данной статье отражена только некоторая часть проблем, которые существуют на сегодняшний день и требуют решения в МО ИС.

Недостатки существующего МО и низкое качество технического обеспечения ИС и СИ в их составе могут привести к возможной эксплуатации системы с ненормированными МХ и большой составляющей дополнительной погрешности. Не исключены и грубые погрешности измерения (промахи). При поверке (калибровке) системы нередко не удается выявить недостатки технического обеспечения.

Исключить возможность эксплуатации ИС с вышеперечисленными недостатками, можно путем внесения изменений в существующие НД или разработкой новых.

#### **Литература:**

1. ГОСТ Р 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения. – Введ. 2002 – 09 – 30. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.
2. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Введ. 1986 – 01 – 01. - М.: Стандартинформ, 2006. – 26 с.
3. РД 50-453-84 Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета. – Введ. 1986 – 01 – 01. - М.: Стандартинформ, 2004. – 11 с.
4. МИ 2439 ГСИ. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура. Принципы регламентации, определения и контроля. – Введ. 1997 – 12 – 29. - М.: Стандартинформ, 2004. – 10 с.
5. Чухланцева М.М., Артюхина Л.В., Лимарева А.В. Тенденции развития проектно-компонентных измерительных систем и их метрологического обеспечения. - Метрологическое обеспечение измерительных систем./ Сб. докл. VI науч. техн. Всероссийской конф. – Пенза, 2010.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННОГО АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Миннигалиева Ж.Ф., Филонина Е.А.

Научный руководитель: Сафин Э.В., к.т.н., доцент

Уфимский государственный авиационный технический университет  
450000, Россия, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

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

В последние годы особую актуальность приобретает проблема совершенствования систем менеджмента качества предприятий аэрокосмической промышленности. Это, в частности связано с тем, что все большее распространение получают так называемые специальные производственные или технологические процессы, результаты которых, то есть определенные параметры качества выпускаемой продукции сложно или невозможно проконтролировать в условиях серийного производства. В связи с этим, большую роль начинает играть качество производственных и технологических процессов, которые, в свою очередь, и обеспечивают стабильность качества продукции. При этом выдвигаются новые повышенные требования как к построению системы менеджмента качества, так и к обеспечению контроля качества процессов на предприятии.

В авиадвигателестроении эта проблема становится особенно актуальной при освоении производства принципиально новых деталей, например полых лопаток вентилятора компрессора газотурбинного двигателя, контроль которых неразрушающими методами в условиях серийного производства затруднен.

Нами была проанализирована работа по совершенствованию системы менеджмента качества ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», являющегося одним из ведущих авиадвигателестроительных предприятий России. В последние годы в объединении была проведена большая работа по внедрению международного стандарта AS 9100 «Системы менеджмента качества. Требования к авиационным, космическим и оборонным организациям».

Этот стандарт является одним из инструментов создания эффективной системы менеджмента качества на предприятии оборонно-промышленного комплекса, обеспечивающей стабильность качества выпускаемой продукции. Причиной разработки специального стандарта послужило то, что в авиации и аэронавтике существуют серьезные риски и эти отрасли достаточно специфичны. А стандарт ISO 9001 уже не вполне адекватно обеспечивал качество и безопасность.

Вся серия AS 9100 разработана на основе ISO 9001 Международной группой по качеству в авиакосмической отрасли (IAQG) с учетом специфики данной отрасли для целей обеспечения единства международных требований к безопасности. При разработке международного стандарта AS 9100 все изменения оформлялись в виде дополнений к стандарту ISO 9001. Текст дополнений выделялся

жирным шрифтом. В стандарт включались требования авиационных властей к менеджменту качества; внедрению подходящего для продукции процесса конфигурационного управления; испытания опытного образца; оценки риска; контроля и трассируемости; постоянного документирования по всей цепочке снабжения продукции; внедрению плана непредвиденных обстоятельств для уже отгруженной несоответствующей продукции.

Особые акценты были расставлены на 5 критических аспектах, а именно: усиление роли процессного подхода, проектный менеджмент, менеджмент рисков, менеджмент конфигурации и удовлетворенность потребителей.

Стандарт системы менеджмента качества аэрокосмической промышленности AS 9100 включает в себя ряд дополнительных требований, специфичных для аэрокосмической отрасли. Эти требования AS 9100 позволяют уделять наибольшее внимание прямому воздействию на безопасность и надежность продукции.

Основные дополнительные требования включают в себя:

Управление конфигурацией – это требования, обеспечивающие управление конфигурацией на всех этапах жизненного цикла продукции в целях гарантии контроля функциональности и физических характеристик продукции;

Проектирование – гарантирует, что проектные организации обладают стабильным процессом проектирования, чтобы обеспечить безопасность и надежность, требуемую в аэрокосмической отрасли;

Закупки – требуют соответствующий контроль и управление организациями во всей цепочки поставок;

Изготовление продукции – обеспечивают, чтобы на каждом этапе изготовления продукции, от планирования до отгрузки, непрерывно контролировалось соответствие продукции установленным требованиям;

Мониторинг и измерение продукции – определяют требования к валидации продукции перед отгрузкой [3].

Большое внимание в новом стандарте AS 9100 уделяется документации и требованиям контроля чертежей, к испытаниям и проверке спецификаций использованных материалов. Новый стандарт AS 9100 регламентирует управление по ключевым характеристикам как производственных процессов, так и процессов управления всем проектом.

Кроме этого, стандарт менеджмента качества AS9100, предписывает сбор информации по проверкам документации и тестированию компонентов машин [2].

Для реализации требований ISO 9001 и AS 9100 на предприятиях должны быть разработаны и документированы процедуры системы менеджмента качества (стандарты организации системы менеджмента качества). Они должны базироваться на требованиях к производству конкретных видов продукции и опыте работы предприятия. Глубина описания процедур зависит от требований нормативной документации и от степени влияния этих процедур на качество продукции. В частности, к таким процедурам относятся процессы управления конфигурацией, управление проектами, управленческие рисками и пр.

Наиболее значимым объектом стандартизации непосредственно для уменьшения специфических рисков аэрокосмической отрасли является жизненный цикл продукции.

Для того чтобы определить риски и оценить их, необходимо иметь четкое представление о процессах, с которыми предстоит иметь дело. Знать их структуру, ход, ресурсы, результаты, которые необходимо достичь, смежные процессы. Все это имеет место быть в действующей на предприятии системе менеджмента качества [3].

Необходимо уточнить, что AS 9100 является американским стандартом, в то время как в Европе действует его аналог EN 9100, а в Азии – JISQ 9100. Они абсолютно идентичны, разница исключительно в статусе. Предприятия, проходя сертификацию на соответствие AS 9100 или EN 9100, в равной степени соответствуют международным требованиям, и эти стандарты признаются без ограничений [4].

Стандарт может быть применен для совершенствования деятельности предприятий аэрокосмической отрасли, а также для сертификации и периодического аудита созданных на этих предприятиях систем менеджмента качества.

На сегодняшний день наличие разработанной, внедренной и сертифицированной в соответствии с требованиями AS 9100 системы менеджмента качества является обязательным требованием со стороны ведущих мировых производителей аэрокосмической отрасли, таких как Boeing, Airbus, Bombardier, Pratt & Whitney по отношению к поставщикам. Это, своего рода, пропуск на международный рынок.

Кроме того, сертификация по международному стандарту AS 9100 позволяет включить предприятие в международную базу данных поставщиков авиакосмического сектора (OASIS); проще нахо-

дить взаимопонимание с иностранными компаниями отрасли, взаимовыгодно расширяя бизнес; снизить длительность аудитов второй стороны; управлять рисками; снизить брак и отходы за счет оптимизации процессов и снижения флуктуаций конечного продукта; демонстрировать прозрачность процессов, цепочки поставщиков, постоянное улучшение.

Сертификация системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандартов серии AS 9100 может принести следующие выгоды:

- обеспечит доступ к последним достижениям аэрокосмической промышленности;
- послужит доказательством обязательств предоставлять качественную продукцию и услуги;
- улучшит перспективы завоевать новые рынки и новых клиентов на мировом уровне.

Усовершенствование деятельности отечественных предприятий за счет внедрения стандарта AS 9100 позволит повысить качество и снизить сроки изготовления выпускаемой продукции, лучше контролировать весь жизненный цикл продукции и, в конечном итоге, увеличить рынок сбыта продукции отечественного авиапрома.

Сегодня в мире насчитывается немногим больше тысячи предприятий, которые имеют действующий сертификат соответствия SMK требованиям стандарта AS 9100. Это число постоянно меняется: при этом общее количество сертифицированных производителей постепенно увеличивается [5].

В 2010 году ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» получило сертификат соответствия системы менеджмента качества аэрокосмическому стандарту AS 9100. Сертификат по AS 9100 повышает конкурентоспособность предприятия при работе с российскими заказчиками и свидетельствует о создании в объединении условий для выпуска высококачественной продукции.

#### Список литературы:

1. Сборник материалов восьмой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», 10-11 марта 2009 года - М.: МАТИ, 2009. - 294 с.
2. [http://www.kpms.ru/Standart/ISO\\_AS9100\\_2009.htm](http://www.kpms.ru/Standart/ISO_AS9100_2009.htm)
3. <http://www.tehnokraft.ru/business-predl/176-novyj-standart-mjenjedzhmjeta-kachjestva-as9100.html>
4. <http://www.aviaport.ru/news/2005/05/23/91316.html>
5. <http://www.tuv.com/ru/as9100.html>

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОТ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ Г. НОВОСИБИРСКА

Мухина В.А.

Научный руководитель: Щинников П.А., д.т.н., профессор  
Новосибирский государственный технический университет,  
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20  
E-mail: [valentina@gorovato.com](mailto:valentina@gorovato.com)

ТЭЦ и котельные – основные загрязнители атмосферы городов. Определение вклада в общий атмосферный фон этих источников загрязнений является непростой и актуальной задачей, в том числе для г. Новосибирска.

В методике предлагается отдельное рассмотрение ТЭЦ и котельных. Учитываются только наиболее значимые загрязняющие вещества: зола, оксиды серы, оксиды азота, окись углерода. Выброс именно этих веществ при работе энергетических установок на органическом топливе жестко регламентируется.

Валовые выбросы ТЭЦ могут определяться двумя путями. Первый вариант это инструментальный замер. ТЭЦ располагает наиболее совершенным оборудованием и квалифицированным персоналом, что позволяет получать выборки по выбросам загрязняющих веществ в различных временных периодах. Второй вариант – расчетный. Его положения представлены в нормативном методе [1]. Валовые выбросы для всех ТЭЦ определены по указанным положениям и представлены в Табл. 1 По мне авторов данные, представленные ТЭЦ-4, являются заниженными. В реальных условиях эксплуатации обеспечить такие данные возможно только при применении, например, селективного каталитического метода очистки от оксидов азота и мокрого известкового способа очистки от оксидов серы. Такими технологиями ТЭЦ-4 не располагает.

В г. Новосибирске более 300 котельных, детальный сбор информации по которым трудоемок и не всегда достоверен. Часто наблюдения за содержанием в дымовых газах загрязняющих веществ не ведутся вообще. Поэтому предлагается нижеследующая методика определения валового выброса. Исключаются из рассмотрения котельные мощностью менее 1 Гкал/час, т.к. данные котельные занимают всего 3% в тепловом балансе г. Новосибирска. Из отобранных котельных выбраны источники, обладающие наиболее характерными принципами функционирования. Для них получены фактические параметры работы. Для остальных котельных разрабатывается методика оценки выбросов с учетом среднего числа часов использования установленной мощности. По этой методике определяются выбросы золы, оксидов серы, оксидов азота и окиси углерода.

Уравнение энергобаланса по Новосибирску:

$Q_{СУМ} = \sum q_{ТЭЦ} \cdot h_{ТЭЦ} + \sum q_{ПК} \cdot \alpha_{ПК} \cdot h_{БК} + \sum q_{БК} \cdot h_{БК}$ , где  $Q_{СУМ}$  - суммарная выработка тепла энергетическими объектами г. Новосибирска, Гкал [3];  $\sum q_{ТЭЦ}$  - суммарная тепловая мощность ТЭЦ [3], Гкал/час;

$\sum q_{ПК}$  - суммарная тепловая мощность паровых котлов (данные «Локальные котельные», «СибКОТЭС»), Гкал/час;  $\sum q_{БК}$  суммарная тепловая мощность водогрейных котлов (данные «Локальные котельные», «СибКОТЭС»), Гкал/час;  $\alpha_{ПК}$  - коэффициент, учитывающий превышение использования в году паровых котлов по сравнению с водогрейными;  $h_{БК}$  - число часов использования установленной мощности для водогрейных котлов. Решая уравнение получаем  $h_{ПК}=3570$  часов,  $h_{БК}=1330$  часов.

По расчетам ТЭЦ занимают в тепловом балансе Новосибирска 52 %, а котельные 48 %, что соответствует данным, представленным «Новосибирскэнерго» [2]. Вместе с тем,  $\alpha_{ПК}=2,5-2,7$  получен на основании данных фактической работы котельных г. Новосибирска в широкой выборке (более 30 котельных). Такие результаты говорят о представительности предоставленных данных по основным параметрам работы. Отобраны 117 котельных, данные по которым использованы в дальнейших расчетах. По фактическим данным выбросов загрязняющих веществ, определенных для 20% котельных и обеспечивающих не менее 40% тепловой мощности всех котельных валовые выбросы определяются тремя способами.

1 Приведенное к среднему значению загрязняющих веществ, г/Гкал·с.

$$i_n^{PP} = \frac{\sum i_n}{\sum Q_n},$$

где  $i_n$  – количество (г/с) загрязняющего вещества от  $n$ -го источника;  $Q_n$  – тепловая мощность  $n$ -й котельной, Гкал;  $n=1...n$  – число источников выбросов;  $i$  – загрязняющее вещество.

Приведенное значение выбросов отдельного источника, г/с:

$$i_n = i_n^{PP} \cdot Q_n.$$

2 Приведенное значение выбросов загрязняющих веществ с учетом разделения котельных по видам топлива, г/Гкал·с.

$$i^{газ} = \frac{\sum i_n^{газ}}{\sum Q_n^{газ}}; \quad i^{уголь} = \frac{\sum i_n^{уголь}}{\sum Q_n^{уголь}}.$$

Приведенное по топливу значению выбросов отдельного источника, г/с:

$$i_n^{газ} = i^{газ} \cdot Q_n^{газ}; \quad i_n^{уголь} = i^{уголь} \cdot Q_n^{уголь}$$

3. Приведенное значение выбросов загрязняющих веществ с учетом разделения котельных по мощности.

$$i^Q = \frac{\sum i_n}{\sum Q_n},$$

где  $Q_n$ , Гкал – тепловая мощность  $n$ -й котельной в расчетном интервале (>100 Гкал/час; 50-100 Гкал/час; 20-50 Гкал/час; 10-20 Гкал/час; 5-10 Гкал/час; <5 Гкал/час).

Приведенное по мощности значение выбросов отдельного источника:

$$i = i^Q \cdot Q_n.$$

Представленные методы имеют недостатки:

Определение по среднему значению выбросов занижает выбросы золы и оксидов серы; расчет значения загрязняющих веществ с учетом вида топлива занижает фактические выбросы, т.к. не учитывает мощность установки, а у мощных установок КПД выше, чем у мелких; учет по мощности может привести к завышению выбросов, т.к. мощные угольные котельные имеют худшие показатели по сравнению с газовыми. Результаты расчетов валовых выбросов показывают, что расчет разными способами может привести к большим расхождениям. В этом случае возможно определение выбросов по среднему между тремя способами:

$$i_{cp} = \frac{\sum i}{k},$$

где  $k$  – число способов определения выбросов загрязняющих веществ  $i$ .

Расчетное значение валового выброса всеми котельными г. Новосибирска показано на Рис. 1. Полученные значения концентраций являются очень незначительными, что вызывает сомнения в достоверности данных фактических замеров, проводимых эксплуатационными службами. Более представительными являются значения концентраций оксидов азота не менее 120-150 мг/м<sup>3</sup> (газ) и 450-600 мг/м<sup>3</sup> (уголь) [3]. По остальным видам выбросов допустимо принимать значения не менее наилучшего показателя на ТЭЦ с аналогичным видом топлива. В этом случае валовый выброс и средняя годовая концентрация составит значения, представленные на Рис.2.

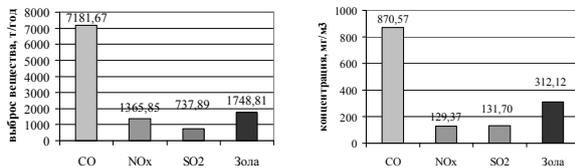


Рис.1 Фактические значения выбросов:

а) – валовые выбросы, т/год;  
 б) – концентрации, мг/м<sup>3</sup>.

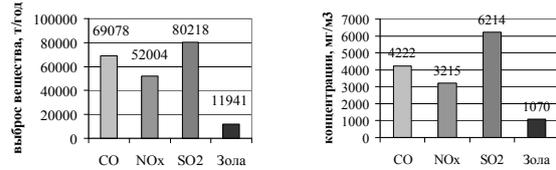


Рис.2 Представительные значения выбросов:

а) – валовые выбросы, т/год;  
 б) – концентрации, мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1. Валовые выбросы ТЭЦ г. Новосибирска

№	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	A	CO
	г/с (мг/м <sup>3</sup> )	г/с (мг/м <sup>3</sup> )	г/с (мг/м <sup>3</sup> )	г/с (мг/м <sup>3</sup> )
ТЭЦ-2	403 (706)	422 (738)	188 (330)	484 (845)
ТЭЦ-3	664 (705)	696 (738)	167 (175)	797 (844)
ТЭЦ-4*	86 (151)	63 (112)	92 (163)	234 (414)
ТЭЦ-5	1230 (634)	1037 (535)	79 (40)	1670 (862)

\* - инструментальный замер.

Выводы:

1. Разработана методика оценки валового выброса загрязняющих атмосферу веществ от действия ТЭЦ и котельных г. Новосибирска.
2. Валовые выбросы загрязняющих атмосферу веществ составляют: NO<sub>x</sub> – 52004 т/год; SO<sub>2</sub> – 80218 т/год; Зола – 11941 т/год; CO – 69078 т/год. А их концентрации: NO<sub>x</sub> – 3215 мг/м<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub> – 6214 мг/м<sup>3</sup>; Зола – 1070 мг/м<sup>3</sup>; CO – 4222 мг/м<sup>3</sup>.
3. Показано, что при определении выбросов в атмосферу от действия котельных достаточно учитывать 117 котельных из более чем трехсот.

#### Литература:

1. Методика определения валовых и удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов электростанций//РД 34.02.305-90.-1991-34 с.
2. Годовой отчет открытого акционерного общества энергетики и электрификации «Новосибирскэнерго» за 2009 г., г. Новосибирск, 2009,-репринт 131 с.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДА ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Осипович Д.А.

Научный руководитель: Ярушин С.Г. д.т.н., профессор  
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет 614990, Пермский  
край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский проспект, д. 29

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

Задача современного промышленного предприятия заключается в производстве продукции с постоянно обновляющейся номенклатурой, конкурентоспособность которой обеспечивается не только качественными характеристиками самой продукции, но и эффективностью технологии ее изготовления. Выполнение этого требования осложняется существенным дефицитом квалифицированных инженерно-технических кадров. Наиболее верным решением данной проблемы, бесспорно, является повышение качества инженерного образования и его релевантности современным производственным задачам. Однако, эффект данных мероприятий имеет характер весьма отдаленный во времени и их реализация позволит в достаточной степени решить проблему дефицита кадров, только спустя десятилетия, тогда как она уже сейчас стоит очень остро.

Для поддержания на приемлемом уровне технологических факторов обеспечения конкурентоспособности продукции широко используются программные комплексы, позволяющие частично автоматизировать деятельность инженера-технолога по разработке технологической документации – САМ системы. Наибольший эффект данные системы имеют в области оформления документации согласно требованиям стандартов, а также первичном моделировании траекторий обработки режущим, абразивным, электроэрозионным инструментом для оборудования с ЧПУ, что позволяет на самом раннем этапе и с минимальными ресурсными затратами обнаружить наиболее грубые ошибки в разработанной траектории обработки. В меньшей степени подобные системы помогают в решении задач проведения изменений, адекватно разрешая коллизии, возникающие при незначительных изменениях в модели детали, для которой с помощью САМ системы разработаны маршрутная технология и управляющая программа. Следует отметить, что способность к выполнению этой функции САМ системой резко снижается по мере увеличения ее разнородности с САД системой, используемой конструктором при разработке деталей. Так если весь цикл конструкторско-технологического обеспечения производится в одной комплексной системе, подобной CreoElements от PTC или NX (бывший Unigraphics), то вероятность проведения простейших изменений в разработанном маршруте обработки или однозначной локализации сбоя в дереве конструирования велика. При необходимости конвертации формата файла детали, разработанной в отдельной

САД системе, не связанной с модулем обработки такая возможность утрачивается практически полностью. Наименьший, эффект оказывает использование типичных САМ систем на следующие виды деятельности инженера-технолога, определенные профессиональной должностной инструкцией [1], и не связанные с анализом сторонней информации: выбор оптимальных режимов обработки, основным источником которых является опыт по обработке типовых деталей, составление планов размещения оборудования, подбор оснащения, подбор и проектирование оснастки, анализ причин брака и выпуска низкокачественной продукции. Использование САМ систем даже может иметь негативный эффект при проявлении излишнего доверия к получаемым с их помощью результатам, например, в области определения норм времени на выполнение операций, поскольку программная реализация компонентов их расчета разработана неадекватно и зачастую является источником неадекватной информации.

Таким образом, источниками повышения эффективности труда инженера-технолога, особенно не имеющего значительной квалификации и профессионального опыта, является автоматизация деятельности в областях, для которых еще не найдены типовые программные решения. Одной из таких областей является систематизация информации о динамических характеристиках режимов резанья, обычно разрозненных по различным справочным материалам, ГОСТам, ОСТам, существующим технологическим процессам, а также памяти сотрудников. Идеальным решением в данном направлении автоматизации будет формирование математических закономерностей взамен табличных зависимостей параметров режимов резанья от условий обработки. Это позволит максимально точно определять оптимальные параметры для каждого возможного набора условий, а не только для узловых точек, интервалы между которыми могут иметь весьма существенные значения. Однако, даже формирование единой базы данных о параметрах существующих и проектируемых технологических процессов изготовления деталей может иметь положительный эффект для сокращения сроков разработки технологической документации.

В ходе анализа нормативной документации, определяющей деятельность инженера-технолога [1], [2], было выявлено следующее:

1. Высокая квалификация и существенный профессиональный опыт требуются от инженера-

технолога на начальном этапе разработки технологического процесса изготовления детали, включающем проведение анализа исходных данных, выбор аналога среди действующих типовых или групповых технологических процессов, выбор исходной заготовки или материала, если это не определено требованиями конструкторской документации. На этом этапе от инженера-технолога требуется проявление широкого кругозора знаний в разной степени связанных с его непосредственной деятельностью: от перечня разработанных и измененных ранее технологических процессах для классификации полученных исходных данных, до экономической и технологических характеристик производства для выбора оборудования для разрабатываемого технологического процесса. И если первая из этих задач зачастую может быть решена с привлечением только действующей номенклатурной системы, на основе которой производится кодификация любого вновь разрабатываемого изделия или детали, то для решения второй задачи помимо принятия варианта, полученного по аналогии с имеющимися решениями, может потребоваться проведение глубоко анализа предметной области, особенно часто в случае изготовления изделий, обеспечивающих принципиально новые характеристики, что при грамотно собранной параметрической базе данных, воплощающей имеющиеся знания предметной области, может быть решено с привлечением специального программного обеспечения, действующего согласно оптимизационным принципам.

2. Интервалы времени, отведенные на работы по оформлению документации, в нормативах существенно завышены. Безусловно, это связано с тем, что при расчете или определении норм обычными эмпирическими способами, рассматривалась деятельность инженера-технолога не оснащенного программными графическими и расчетными средствами, повсеместно используемыми в современной производственной практике. Нормы требуют пересмотра с учетом новых условий труда при разработке всех этапов технологических процессов (определение системы базирования детали, составление маршрута обработки, выбор средств оснащения, автоматизации процессов, расчет режимов обработки).

3. Существенная часть рабочего времени инженера-технолога отводится на внесение изменений в разработанные технологические процессы в связи с проведением конструкторских изменений или результатами опытной отработки, в ходе которой было выявлено несоответствие результатов назначенного технологического процесса заявленным исходным требованиям. Не всегда это действие

требует полной переработки технологического процесса, но содержание изменения крайне редко представлено в формате, принимаемом используемой САМ системой без перекодировки, значит появляется необходимость дополнительной ручной обработки данных.

4. Согласно различной специальной литературе по управлению персоналом, в частности [3] помимо основного и вспомогательного оперативного времени в структуре рабочего времени имеется время, косвенно связанное с выполнением основных трудовых функций, а также время перерывов. Именно это время может быть максимально задействовано в проведении компьютерных операций обработки данных, не требующих непосредственного участия оператора, таких как проведение сложных ресурсоемких расчетов по созданию и отладке управляющей программы обработки. Таким образом, рациональное планирование неоперативного рабочего времени должно привести к возрастанию эффективности деятельности инженера-технолога даже при использовании компьютерных систем не высокой мощности.

В результате анализа собранных данных выявлено, что на настоящий момент далеко не все этапы деятельности инженера-технолога автоматизированы в той или иной степени. Считая приоритетными те виды деятельности, автоматизация которых может иметь наибольший эффект для улучшения качества производства при невысокой квалификации выполняющего, первыми объектами рассмотрения возможности автоматизации являются систематизация данных о режимах обработки в единые базы данных и способность автономного программного обращения к этим базам. Таким образом, предполагается возможность практически полной автоматизации труда инженера-технолога с существенным сокращением уровня требований к его профессиональным умениям и опыту.

#### Список использованной литературы:

1. Должностная инструкция инженера-технолога (технолога). Электронный ресурс дата обращения 20.12.2011.
2. Укрупненные нормы времени на разработку технологической документации (Утверждены постановлением Министерства труда Российской Федерации от 21 апреля 1993г. №86). Текст с изменениями и дополнениями по состоянию на ноябрь 2007 года. Электронный ресурс LawRussia.ru дата обращения 20.12.2011.
3. Лучанинов С. В. Нормирование труда: просто о серьезном // Менеджер по персоналу. – 2011. - №10.

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОБЛЕМА АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Ю.А. Пашкова

Научный руководитель: Стукач О.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [capital@sibmail.com](mailto:capital@sibmail.com)

**Состояние проблемы.** Система менеджмента качества в образовании базируется на следующих принципах:

- понимание и выполнение требований к образованию с учетом международного стандарта ISO 9001:2008;
- постоянное совершенствование образовательного процесса с учетом результатов мониторинга.

На сегодняшний день уровень практической реализации внедрения статистических методов среди требований к системе качества низкий, а возможности методов используются далеко не полностью. Актуальной проблемой является решение задач по обеспечению качества образования, которые требуют разработки и внедрения новых подходов к менеджменту [1].

**Целью работы** является решение одной из проблем аттестации обучающихся с помощью статистического метода дискриминантного анализа.

**Задачи исследования** заключались в том, что было необходимо:

- обработать данные – ответы респондентов на заранее составленный тест-вопросник, связанные с областью программирования;
- дискриминировать выборку на две совокупности (группы).

**Проведение исследования.** По базе обучающихся на профильной и непрофильной кафедрах проводился письменный опрос. Разработанная для проведения исследования тестовая задача включала в себя три блока вопросов, касающихся оценки и тестирования программ, написанных на разных языках программирования. Полученные результаты переводились в шкалу интервалов, а затем регистрировались в электронной базе Excel.

Проведение дискриминантного анализа осуществлялось с помощью программного пакета Statistica 8.0. Поскольку имелось три блока вопросов из десяти, то были взяты средние значения по каждому блоку. Затем данные были отнесены в соответствующие группы экспертным способом (1 – «эксперты», обучающиеся профильной кафедры, 2 – «новички», обучающиеся непрофильной кафедры соответственно).

В ходе вычислений системой были получены дискриминантные функции, представленные на рисунке 1. Значения статистики Уилкса, лежащие около нуля, свидетельствуют о хорошей дискриминации, а значения, лежащие около 1, свидетельствуют о плохой дискриминации. По данным показателя значение лямбды Уилкса, равного 0,434

и по значению  $F$ -критерия, равного 67,901, можно сделать вывод, что данная классификация практически корректна, так как значение статистики Уилкса лежит в интервале  $[0,1]$ .

В качестве проверки корректности выборок были рассмотрены результаты классификационной матрицы (см. рисунок 2).

Discriminant Function Analysis Summary (дискриминантный анализ)						
No. of vars in model: 3; Grouping: Var4 (2 grps)						
Wilks' Lambda: .43369 approx. F (3,156)=67,901 p<0,0000						
N=160	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (1,156)	p-level	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
Var1	0.458264	0.946380	8.8386	0.003418	0.849683	0.150317
Var2	0.915518	0.473712	173.3141	0.000000	0.580412	0.419588
Var3	0.653554	0.663590	79.0850	0.000000	0.662197	0.337803

Рис. 1. Результаты расчёта дискриминантных функций

Classification Matrix (дискриминантный анализ)				
Rows: Observed classifications				
Columns: Predicted classifications				
Group	Percent Correct	G_1:1 p=.19375	G_2:2 p=.80625	
G_1:1	100,0000	31	0	
G_2:2	100,0000	0	129	
Total	100,0000	31	129	

Рис. 2. Классификационная матрица

Из классификационной матрицы были сделаны выводы о том, что объекты аттестации в итоге были правильно отнесены соответствующим группам экспертным способом. В этих классах процент корректности равен 100.

На рисунке 3 представлена классификация случаев, где указаны отнесённые к соответствующим группам обучающиеся. В таблице классификации случаев некорректно отнесенные к группам обучающиеся помечаются звездочкой (\*), тем самым получая результат аттестации.

Posterior Probabilities (дискрим. анализ)			
Incorrect classifications are marked with *			
Case	Observed Classif.	G_1:1 p=.45000	G_2:2 p=.55000
Кузьмин	G_2:2	0.396176	0.603824
Макарова	G_2:2	0.455039	0.544961
Матвиенко	G_2:2	0.475940	0.524060
Овчинников	G_2:2	0.468988	0.531012
Поплетнева	G_2:2	0.404839	0.595161
Рыбина	G_2:2	0.470799	0.529201
Степанова	G_2:2	0.374394	0.625606
Топова	G_2:2	0.392910	0.607090
* Чугунова	G_2:2	0.506190	0.493810
* Шуракова	G_2:2	0.505011	0.494989
Доронина	G_2:2	0.434125	0.565875
* Язат	G_2:2	0.534651	0.465349
* Жукова	G_2:2	0.500224	0.499776
Маркина	G_2:2	0.426399	0.573601
Маслюк	G_2:2	0.406487	0.593513
* Пашкова	G_2:2	0.569112	0.430888

Рис. 3. Результаты дискриминантного анализа

Соответственно, обучающиеся Чугунова, Шуракова, Язат, Жукова и Пашкова были некорректно отнесены ко второй группе - «новички», обу-

чающиеся непрофильной кафедры. Они должны быть отнесены к первой группе, к которой относятся обучающиеся профильной кафедры.

Задача получения корректных выборок состоит в том, чтобы исключить из выборок те объекты, которые по своим показателям не соответствуют большинству обучающихся, образующих однородную группу [2].

На рисунке 3 обучающиеся, отмеченные (\*), отнесены экспертным способом некорректно.

Процедура исключения объекта из выборок состоит в том, что в таблице исходных данных у объекта, который должен быть исключён из выборки (он помечен "\*\*"), убирается номер принадлежности к этой группе, после чего процесс тестирования повторяется.

Для этого с помощью метрики Махаланобиса определяются расстояние от всех  $n$  объектов до центра тяжести каждой группы (вектор средних), определяемых по обучающей выборке. Отнесение экспертом  $i$ -го объекта в  $j$ -ю группу считается ошибочным, если расстояние Махаланобиса от объекта до центра его группы значительно выше, чем от него до центра других групп, а апостериорная вероятность попадания в свою группу ниже критического значения. В этом случае объект считается некорректно отнесенным и должен быть исключен из выборок.

Процедура исключения наблюдений продолжается до тех пор, пока общий коэффициент корректности в классификационной матрице достигнет 100 %, т.е. все наблюдения выборок будут правильно отнесены к соответствующим группам.

Из данных окна «Classification functions» были получены классификационные функции для каждого класса. Например, для двух классов функции имеют вид:

$$Y_1 = -39,2764 + 51,1370 * Var1 - 0,3064 * Var2 + 60,8095 * Var3$$

$$Y_2 = -38,0533 + 42,5153 * Var1 + 45,7741 * Var2 + 33,6106 * Var3$$

Variable	Classification Functions:	
	G_1:1 p=,19375	G_2:2 p=,80625
Var1	51,1370	42,5153
Var2	-0,3064	45,7741
Var3	60,8095	33,6106
Constant	-39,2764	-38,0533

Рис. 4. Классификационные функции

С помощью этих функций можно будет в дальнейшем классифицировать новых обучающихся. Они будут относиться к тому классу, для которого

классифицированное значение будет максимальное. Выбор метода окончательной классификации зависит от количества новых обучающихся, подлежащих классификации. Если количество новых обучающихся невелико, можно применить метод, основанный на статистических критериях. Если же количество новых обучающихся велико, то рациональнее по выборкам получить классификационные функции и затем, настроить формулы и провести окончательную классификацию.

### Заключение

Статистические методы контроля качества в настоящее время приобретают все большее признание и распространение. Научные методы статистического контроля качества используются во многих отраслях деятельности. Во-первых, в последнее время значительно ужесточились требования к параметрам качества. Во-вторых, мы сегодня живем в эпоху тотальной персональной компьютеризации и навязчивого программного обеспечения, которые изменили в принципе философию пользования интеллектуальными информационными технологиями. В-третьих, усложнились качественно и количественно задачи менеджмента качества.

При решении задачи аттестации обучающихся был применен статистический метод исследования – дискриминантный анализ данных, основная идея которого заключалась в том, чтобы определить, отличаются ли совокупности по среднему значению какой-либо переменной (или линейной комбинации переменных), а затем использовать эту переменную, чтобы предсказать, к какой из двух групп будет относиться новый обучающийся. В целом, этот метод целесообразно использовать для решения одной из задач по обеспечению качества образования.

### Литература

1. Стукач О.В. Статистическое моделирование оценки качества подготовки специалистов по информационным технологиям // Информатика и системы управления. - 2005. - N 1. - С. 175-181. - ISSN 1814-2400.
2. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. - 464 с.

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

Пашина С.А.

Научный руководитель: Усманов Ю.А., к.т.н., доцент

Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г.Омск, пр. Маркса, 35

E-mail: [furai\\_work@gmail.com](mailto:furai_work@gmail.com)

За годы существования железнодорожный транспорт претерпел множество реформных преобразований. Все эти изменения были направлены на эффективное функционирование железнодорожного транспорта. Железнодорожная отрасль Российской Федерации играет огромную роль в создании условий для перехода на инновационный путь развития, модернизации и устойчивого роста национальной экономики.

В ОАО «РЖД» наблюдается положительная динамика большинства показателей безопасности движения: уменьшается число крушений, аварий и сходов поездов. Однако к настоящему времени исчерпаны практически все возможности системы управления безопасностью по дальнейшему развитию и расширению функциональности. Стратегической целью деятельности ОАО «РЖД», является повышение качества транспортных услуг. Важнейшим показателем качества транспортных услуг является их безопасность. Обеспечению качества и безопасности перевозок посвящен специальный раздел в стратегической программе развития компании, где главной задачей названо постоянное снижение риска возникновения транспортных происшествий.

На примере повышения качества ремонта подвижного состава можно увидеть, что на железнодорожном транспорте в общем виде можно реализовать метод PDCA - «планируй – выполняй – контролируй – действуй» («plan – do – check – act») [1]. Принципы такого подхода пока не находят достаточного воплощения в деятельности ОАО «РЖД», так как необходимо различать фактическое внедрение систем менеджмента качества и достаточно распространенное формальное получение сертификатов СМК. Кроме того, структура управления компании ориентирована не на процессный, а на функциональный подход, в частности, к методам управления, а он – далеко не самый идеальный. В связи с этим важной задачей ОАО РЖД явилось совершенствование системы управления. Для этого была разработана Стратегическая программа развития железнодорожного транспорта до 2030 года [2]. Программу детализируют два документа: «Функциональная стратегия обеспечения гарантированной безопасности перевозочного процесса» и «Функциональная стратегия управления качеством в ОАО «РЖД».

Мировая практика непрерывного повышения качества продукции и услуг, в том числе транспортных, заключается в создании на предприятиях систем управления качеством на основе требова-

ний стандартов по управлению качеством ISO серии 9000.

В настоящее время руководство Компании ОАО «РЖД» нацелилось на создание Корпоративной Интегрированной Системы Менеджмента Качества (КИ СМК) в соответствии с международными стандартами ISO серии 9000. Нельзя в нескольких словах описать результаты работы КИ СМК. Да, КИ СМК внедрена на пилотных предприятиях железных дорог, таких как Куйбышевская, Октябрьская. На предприятиях реализуются принципы международных стандартов, таких как ИСО серии 9000, экологического менеджмента 14000 и т.д., используются различные инструменты, методы качества. Но, конкретных и быстрых результатов пока нет. Их и не может быть, так как повышение качества – это планомерный, постепенно развивающийся процесс.

Поэтому пока происходит реализация проектов по повышению качества на одних дорогах, другие дороги стремятся к повышению безопасности перевозочного процесса, например Западно-Сибирская железная дорога. Компанией ОАО «РЖД» уже разработан ряд нормативных документов в сфере безопасности перевозок, такие как «Функциональная стратегия обеспечения гарантированной безопасности перевозочного процесса», «Методические указания по внедрению функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса на полигонах железных дорог», стандарты и т.д.

В целях реализации Функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса, на Западно-Сибирской дороге под руководством главного инженера создана рабочая группа, в состав которой включены заместители начальника железной дороги по отраслям, начальники служб и дирекций, осуществляющих перевозочный процесс и его техническое, технологическое и кадровое обеспечение. Созданы рабочие группы в службах и дирекциях (под председательством начальников данных подразделений), на отделениях (под председательством главных инженеров отделений), на линейных предприятиях (под председательством начальников предприятий).

Проведено предметное изучение Стратегии с работниками служб, дирекций отделений и линейных предприятий, установлен контроль за полной и своевременной реализацией инвестиционного проекта «Повышение безопасности движения». Разработаны мероприятия по реализации Страте-

гии по каждому хозяйству и железной дороге в целом.

Все это было бы очень эффективно, если бы не одно но. Все это не реализовано в должной мере, чтобы получить хотя бы минимальный эффект.

Во-первых, проблема состоит в том, что разработанные документы, регламентирующие деятельность в области безопасности перевозочного процесса, внедряются без должного анализа существующего положения дел. Необходимо проведение аудитов, но это должны делать специалисты, которых нет на предприятии.

Во-вторых, проведение факторного анализа не проводится так, как он регламентируется документами. Нельзя, просто взяв и применив инструменты качества, говорить, что проводится факторный анализ. Проблема состоит в том, что специалисты, занимающиеся составлением факторного анализа, не ознакомлены с этими документами и не владеют знаниями в данной области.

Идея создания системы менеджмента безопасности движения очень актуальна для железнодорожной отрасли, но нельзя подходить к одной проблеме с разных сторон. Одни дороги нацелены на качество, другие – на безопасность. Но качество и безопасность на железнодорожном транспорте на прямую взаимосвязаны между собой. Поэтому необходимо внедрять систему менеджмента качества, соответствующую требованиям международных стандартов и преломлять ее применительно к управлению безопасностью движения.

Для сравнения, рассмотрим пятилетний план обеспечения безопасности «2013 Safety Vision» Восточно-японской железнодорожной компании (JR East), который был внедрен в 2009 году[3].

В нем выделяются два основных направления:

1. Развитие человеческих ресурсов (потенциала) и совершенствование систем, связанных с безопасностью.

2. Предотвращение аварийных ситуаций путем оценки рисков. Вводится оценка риска, которая принимает во внимание частоту событий, произошедших в прошлом, в том числе с небольшим ущербом, и максимальный масштаб ущерба от событий, которые можно представить.

В «2013 Safety Vision» определены четыре столпа. Более подробно они рассмотрены ниже.

*Создание культуры безопасности.*

Культура безопасности, на которую нацелена компания, – это культура, в рамках которой происходит изучение и принятие мер, исходя из произошедших несчастных случаев и из информации о симптомах (признаках) аварий, на основе взаимного доверия между сотрудниками.

Пять "культур", которые составляют культуру безопасности, представлены ниже:

1. Культура правильной (корректной) отчетности.

2. Культура осведомленности.

3. Культура обсуждения.

4. Культура обучения.

5. Культура действий.

*Восстановление системы управления безопасностью*

В рамках этого столпа планируется развитие человеческих ресурсов и передача младшим поколениям информации о безопасности, созданы методы наследования знаний по безопасности (хроникеры, выставочные залы и т.д.). Идея "останови поезд, если ты ощущаешь опасность!" – положена в основу деятельности компании в рамках перевозочного процесса

*Принятие надежных мер по сокращению рисков*

Представлена оценка риска, принимающую во внимание частоту событий, которые наблюдались в прошлом, в том числе лишь с небольшим ущербом, и максимальный масштаб ущерба от событий, которые можно представить.

Будет производиться классификация событий по этому направлению и анализ соотношения между частотой аварий или событий и ущербом от них. На рисунке ниже представлен пример анализа (см. Рис. 1)

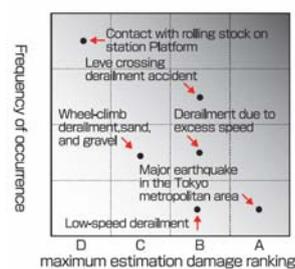


Рис. 1 – Пример анализа

Четвертым столпом является *содействие активному внедрению средств и методов по обеспечению безопасности.*

Общая сумма инвестиции в проект «2013 Safety Vision» составит около 750 млрд. иен.

В заключении стоит отметить, что Безопасность движения поездов, не только техническая сторона железнодорожной отрасли, но еще и экономическая. Ее поддержание требует затрат, как капитальных, так и текущих, а ее нарушения связаны всегда с ущербом.

**Список использованных источников:**

1. Лapidус В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. - М.: Типография Новости, 2000. - 432 с.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, 2008 г.
3. Tsugio Sekiji, East Japan Railway Company.

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ

Пилюгин Г. А.

Научный руководитель: Петухов Р. А., ст. преподаватель  
 Политехнический институт СФУ, 660074, Россия, г. Красноярск, ул. Киренского, 26  
 E-mail: [sfu\\_pi\\_pilyugin@mail.ru](mailto:sfu_pi_pilyugin@mail.ru)

Рассмотрена эффективность применения переменного тока при ремонте деталей железо-никелевым сплавом. Показано, что применение микроконтроллеров позволяет повысить качество покрытия.

На современном производстве порядка 60% электроприводов имеют в основе асинхронные электрические машины. Неодинаковые условия эксплуатации приводят к преждевременному износу отдельных узлов или деталей, поэтому вопросы ремонта изношенных деталей имеют большое практическое значение. Наиболее подвержены износу и выходу из строя в электрических машинах вал и подшипниковые щиты - разрушение трущихся поверхностей, а так же поверхностей качения, деталей подшипников, трещины, повреждение шеек валов, их износ.

Одним из наиболее эффективных методов ремонта деталей электрических машин, изнашивающихся поверхностей в результате трения, является нанесение гальванических покрытий, он отличается значительной производительностью, экономичностью, высокими физико-механическими свойствами покрытий.

Железнение получило распространение при ремонте деталей электрических машин. Применение железо-никелевых покрытий позволяет повысить на 15...25% износостойкость, механическую прочность, коррозионную стойкость и теплостойкость, по сравнению с применением чистых железных покрытий.

Из исследования изложенного в [3] можно сделать вывод, что основными технологическими параметрами, влияющими на свойства покрытия и его экономичный режим осаждения, являются плотность тока, температура электролита и концентрация никеля (Рис. 1).

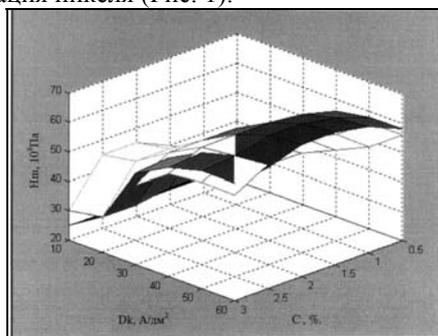


Рис. 1. Влияние технологических параметров на качество покрытия

В практике железнения используют токи различной формы: постоянный, постоянный с наложением переменного, асимметричный, периодический с обратным импульсом, синусоидальный ток с отсечкой.

Покрытия, получаемые на токе переменной полярности, отличаются от покрытий, получаемых на постоянном токе, микроструктурой, пористостью, шероховатостью и физико-механическими свойствами.

Использование для электролиза переменного тока с отсечкой ведет к повышению производительности процесса электроосаждения и к повышению качества покрытия [1]. Это связано с особенностями электрохимических процессов в прикатодном пространстве электролизной ванны. Форма тока анодной и катодной составляющей представлена на Рис. 2 и выражениями (1), (2):

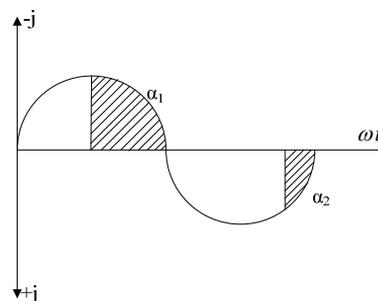


Рис. 2. Характер изменения синусоидального тока с отсечкой

$$i_k = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} J_m^k \cdot \sin \omega t d(\omega t), \quad (1)$$

$$i_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_2}^{\pi} J_m^a \cdot \sin \omega t d(\omega t). \quad (2)$$

Применение обратного тока позволяет освободить кристаллическую решетку металла восстанавливаемой поверхности от окисной пленки, а так же других продуктов реакции и готовит поверхность для следующего микрослоя покрытия. Анодный ток способствует не только улучшению сцепления осадка с основной деталью, но и получению более ровных покрытий.

Режим электролиза, так же как и состав электролита оказывает большое влияние на структуру покрытий. Приведенный график (Рис. 1) показывает, что свойства получаемых покрытий зависят не только от применяемой формы тока, но и от его плотности. С увеличением плотности тока катодная поляризация растет, что приводит к получению более мелкозернистых и твердых покрытий.

Применения микроконтроллерного регулятора мощности для процесса железнения, позволяет регулировать анодную и катодную составляющую в диапазоне (от 0° до 180°), что позволяет добиться оптимальных параметров ведения процесса нанесения гальванического покрытия с минимизаци-

ей технологических потерь, таких как материалы, электроэнергия, трудозатраты.

В работах [2], [3] приведены исследования влияния температуры электролита на выход по току, толщину покрытия, процентное содержание железа в покрытии. Основываясь на них можно сделать вывод, что чрезмерное повышение температуры электролита ухудшает твердость покрытий. При этом покрытия от мелкозернистых и плотных, постепенно превращаются в более крупнозернистые и шероховатые с большим количеством пор, вследствие бурного выделения водорода.

Применение регулятора температуры, который представляет собой двухпозиционное устройство позволяющее регулировать температуру в интервале  $-50 \dots +500$  °С, с точностью измерений  $\pm 0,5$  %, позволяет осуществлять автоматический контроль при протекании процесса, и регулирование температуры в нескольких точках одновременно, а также возможность установки различных значений температуры по каждому каналу регулирования.

Структурная схема прибора представлена на Рис. 3. Он состоит из датчика температуры  $t^\circ/R$ , установленного на контролируемом объекте, преобразователя R/U, логического, управляющего и сигнального устройств, узла индикации и клавиатуры, источника питания и образцового напряжения. Логическое устройство производит аналого-цифровое преобразование напряжения, поступающего от преобразователя R/U. и с помощью логических операций по специальному алгоритму формирует сигналы для управляющего и сигнального устройств, а также для узла индикации и клавиатуры. Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков: контроллера и датчика. В свою очередь, контроллер состоит из двух submodule.

Результаты ряда исследований показали [1], [2], что наличие никеля в железном покрытии улучшает его физико-механические свойства. Покрытие становится более твердым и вязким, что способствует повышению усталостной прочности и износостойкости покрытия. При этом оптимальная концентрация никеля от 5 до 25 г/л приводит к увеличению содержания никеля в покрытии и увеличению микротвердости. Дальнейшее увеличение концентрации никеля снижает микротвердость покрытия и выход металла по току. Из Рис. 1 видно, что изменение концентрации никеля в электролите, в заданных пределах, незначительно влияет на микротвердость покрытия. Это позволяет отказаться от цифрового контроля над этим параметром.

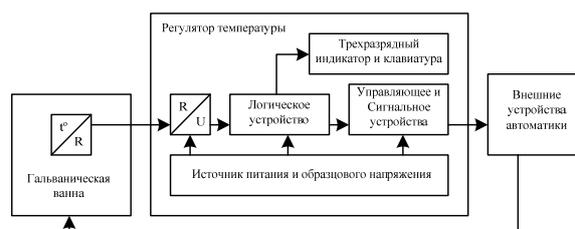


Рис. 3. Структурная схема регулятора температуры

Представленные микроконтроллерные устройства позволяют осуществить связь с ПК, и с помощью программных средств обеспечить контроль и вывод на интерфейс ПК сразу несколько технологических параметров, что обеспечивает более полный и точный контроль на всем протяжении технологического процесса, и повышает качество покрытия на ремонтируемых изделиях.

Отклонения от технологического режима дают покрытия низкого качества, и даже брак. Применение микроконтроллерных средств регулирования для гальванического производства способствует получению более стабильных и качественных покрытий, с большей микротвердостью, сцепляемостью при наименьших затратах. Организация блоков управления позволяет осуществить автоматизацию системы контроля технологических параметров, тем самым управляя качественными показателями осаждаемого покрытия. Для автоматизации и вывода интерфейса на ПК возможно использовать порт RS-232, имеющийся на всех микроконтроллерных регуляторах.

#### Список литературы:

1. Суворин А. В. Повышение работоспособности деталей, ремонтируемых железоникелевыми покрытиями с использованием тока синусоидальной формы с отсечкой [Текст]: дис. канд. техн. наук / А. В. Суворин. – Красноярск, 1982. – 188с.
2. Рожков Д. М. Разработка управляемого технологического процесса восстановления посадочных мест корпусных деталей машин в сельском хозяйстве гальваническими покрытиями [Текст]: дис. канд. техн. наук / Д. М. Рожков. – Улан-Удэ, 2006. – 226с.
3. М. Ю. Чегошев, Р. А. Петухов Разработка адаптивной нейро-нечеткой системы нанесения гальванического покрытия для ремонта электрических машин [Текст]: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений – М: Технетика., 2009. – 108-113 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕЧИ

Писаревская Е.А.

Научный руководитель Рыбин Ю.К., ктн, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [lena\\_ms88@mail.ru](mailto:lena_ms88@mail.ru)

### **Введение**

В настоящее время широкое распространение в промышленности и быту занимают приборы и оборудование, использующее электромагнитные излучения: компьютерная техника, сотовые телефоны, микроволновые печи и т. д.

Наиболее сильными из них остаются микроволновые и электрические печи. Все изделия, являющиеся источником электромагнитного излучения (ЭМИ) гигиенически значимых уровней и предназначенные для использования населением, в соответствии с требованиями федерального законодательства проходят обязательную санитарно-эпидемиологическую экспертизу Госсанэпиднадзора Минздрава России, что исключает необходимость применения дополнительных средств защиты. Тем не менее предупредительные меры защиты соблюдать необходимо [2].

Цель работы – анализ влияния ЭМИ микроволновой печи на здоровье человека, а также проверка ЭМИ на соответствие требованиям санитарных норм.

### **Принцип работы микроволновой печи**

Каждая микроволновая печь содержит магнетрон, который преобразует электрическую энергию в сверхвысокочастотное электрическое поле частотой 2,45 ГГц, которое и взаимодействует с молекулами воды в пище. Микроволны влияют на молекулы воды в пище, заставляя их вращаться с частотой миллионы раз в секунду, создавая молекулярное трение, которое и нагревает еду.

### **Вред от микроволновой печи**

Во-первых, это сами электромагнитные излучения. Наиболее вредным для организма человека, с точки зрения биологии, является высокочастотное излучение сантиметрового диапазона (СВЧ), дающее электромагнитные излучения наибольшей интенсивности. СВЧ излучение непосредственно нагревает организм, ток крови уменьшает нагревание (это относится к органам, богатым кровеносными сосудами). Но есть органы, например хрусталик, не содержащие кровеносных сосудов. Поэтому волны СВЧ приводят к помутнению хрусталика и его разрушению. Эти изменения необратимы.

Во-вторых, это влияние СВЧ излучения на пищу. В результате воздействия электромагнитного излучения на вещество возможна ионизация молекул, т.е. атом может

приобрести или потерять электрон, – а это меняет структуру вещества. Излучение приводит к разрушению и деформации молекул пищи. Микроволновая печь создает новые соединения, не существующие в природе, называемые радиолитическими.

В-третьих, СВЧ излучения приводят к ослаблению клеток нашего организма. В генной инженерии существует такой способ: чтобы проникнуть в клетку, ее слегка облучают электромагнитными волнами и этим ослабляют клеточные мембраны. Так как клетки практически сломаны, то клеточные мембраны не могут предохранить клетку от проникновения вирусов, грибов и других микроорганизмов, также подавляется естественный механизм самовосстановления.

В-четвертых, микроволновая печь создает радиоактивный распад молекул с последующим образованием новых неизвестных природе сплавов, как обычно при радиации.

Таким образом, пища, измененная микроволнами, наносит вред пищеварительному тракту и иммунной системе человека. Наиболее подвержены влиянию электромагнитных полей кровеносная система, эндокринная система, головной мозг, глаза, иммунная и половая системы.

Вред СВЧ излучения зависит от его интенсивности и времени воздействия [3].

### **Результаты эксперимента**

Для обеспечения безопасности при использовании печей в быту в России действуют санитарные нормы, ограничивающие предельную величину утечки СВЧ-излучения микроволновой печи. Согласно СН № 2666-83, величина плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитного излучения не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup> на расстоянии 50 см от любой точки корпуса печи при нагреве 1 литра воды [1].

В данном эксперименте в качестве источника излучения используется микроволновая печь марки Elenberg MS-2005 M.

В настоящее время, существует множество приборов предназначенных для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля.

В данной работе будет рассмотрен прибор российского производства измеритель ПЗ-33М. Измеритель обеспечивает измерения средних значений напряженности и плотности потока энергии в СВЧ диапазоне электромагнитных

излучений.

В начале эксперимента было проведено измерение ЭМИ в помещении в отсутствие источника излучения. Измеритель не зафиксировал ЭМИ, т.е. состояние помещения, в котором проводились опыты, не будет искажать последующие результаты измерений.

Для удобства измерений каждая из сторон микроволновой печи обозначена буквами. А – передняя панель; В – левая боковая панель; С – правая боковая панель; D – верхняя панель, Е – нижняя панель, F – задняя панель.

В соответствии с санитарной нормой [1] на расстоянии 0,5 метра от печи, значение ППЭ не должно превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Для проверки этого соответствия, откладываются нормали от каждой панели микроволновой печи, также было выбрано 3 интервала расстояния от микроволновой печи, в качестве изучения ППЭ электромагнитного поля именно в этих местах. Измерения проводятся при включенной микроволновой печи на 100%-ую мощность.

Далее будет представлен ряд графиков, показывающих зависимость ППЭ электромагнитного излучения от интервала расстояния.

Производятся измерения ЭМИ микроволновой печи на расстоянии в 10 см. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

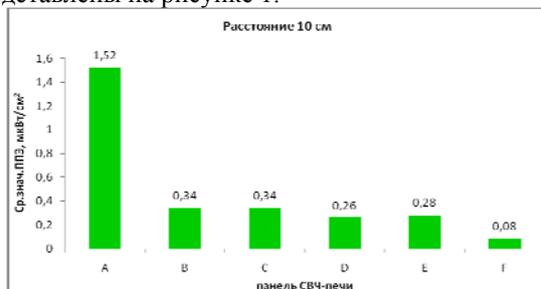


Рис.1. Измерения ЭМИ микроволновой печи на расстоянии в 10 см

Производятся измерения ЭМИ микроволновой печи на расстоянии в 50 см. Результаты измерений представлены на рисунке 2.

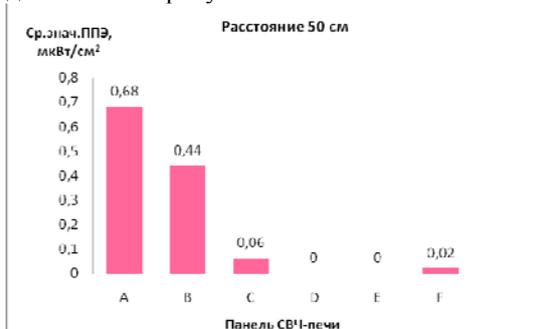


Рис.2. Измерения ЭМИ микроволновой печи на

расстоянии в 50 см

Производятся измерения ЭМИ микроволновой печи на расстоянии в 70 см. Результаты измерений представлены на рисунке 3.

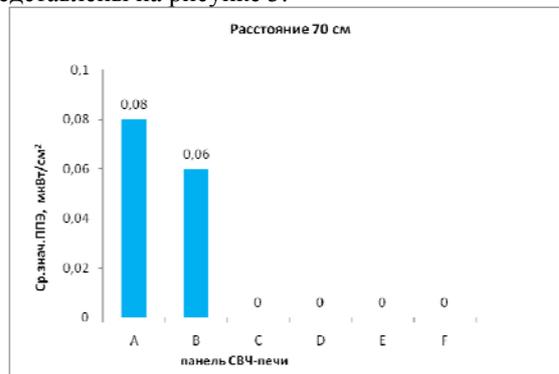


Рис.3. Измерение ЭМИ микроволновой печи на расстоянии в 70 см

Вывод: В результате измерений было установлено, что максимальное значение интенсивности ППЭ находится на передней панели микроволновой печи (2,4 мкВт/см<sup>2</sup>), но оно в пределах нормы (10 мкВт/см<sup>2</sup>).

#### Заключение

В данной статье приведен анализ влияния электромагнитного излучения микроволновой печи на здоровье человека, определен какой вред приносит использование печи в быту.

Также в статье представлен эксперимент с микроволновой печью и измерителем ПЗ-33М. Было определено, что микроволновая печь марки Elenberg MS-2005 М полностью соответствует требованиям СН 2666-83 по предельно допустимым уровням плотности потока энергии.

#### Литература

1. СН № 2666-83 Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами. – М., 1983.
2. Н. Н. Грачёв, Л. О. Мырова. Защита человека от опасных излучений. -М.: «Бином», 2005, 317 с.
3. Официальный сайт компании «ГАММА-7» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gamma7.m-l-m.info/>, свободный.

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И СОХРАНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ОБЪЕКТАХ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА В ГОРОДЕ ТОМСКЕ

Поляков М.В., Полякова А.В.

Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

Томск является одним из старейших городов Сибири, дома которого вплоть до революции 1917 года строились в основном из дерева: в 1810 году в городе было всего 5 домов из камня, в 1855 – 45.

Томск это уникальный в мировом масштабе культурный и исторический феномен, т.к. ни в одном регионе мира не существует таких крупных и полноценных массивов деревянной застройки.

В Томске расположено 200 зданий, официально отнесенных к памятникам деревянного зодчества: 18 федеральных, 98 региональных и 84 «вновь выявленных». Все эти здания объединяет один строительный материал – дерево, которое подвергается физическому, химическому и биологическому разрушению. Причем изменение свойств в большей степени зависит от условий эксплуатации конструкции.

Разрушение древесины происходит по многим причинам: разница в температуре (воздуха внутри помещения и снаружи), осадки, ветер, солнце и т.д. Но самый большой вред деревянному дому причиняют насекомые и грибки. Насекомые в первую очередь поражают влажную, пористую древесину и находятся в стыках бревен, так как именно там скапливается много воды и эти места плохо проветриваются. Основные разрушения производят личинки взрослых насекомых, которые используют древесину для своего питания.

Плесень вызывается микроскопическими спорами грибов и поражает влажную древесину, развивается и в покрытии, и в самой древесине. Рост грибков происходит при умеренных температурах, наличии влаги и кислорода. Плесень, как правило, безопасна для древесины, но создает условия для роста других грибов.

Синева вызывается микроскопическими спорами окрашивающих грибов, поражающими заболонь всех пород древесины. Синева поражает как поверхностные слои древесины, так и более глубокие части. Она не влияет на прочность древесины, но служит благоприятной средой для развития других опасных микроорганизмов.

Гниль - наиболее опасное поражение древесины, т.к. древесина теряет прочность, способность сопротивляться нагрузкам. Появление грибков плесени, синева провоцирует развитие гнили. Образование гнили происходит под воздействием домовых грибов, которые увлажняют древесину за счет воды, возникающей при разложении целлюлозы. В связи с чем, в плохо вентилируемых помещениях происходит заражение даже сухой древесины.

Таблица 1 – Условия появления насекомых и грибков

	Температура, °С	Влажность, %
Насекомые	18-24	60-80
Плесень	20	>90
Синева	25-28	35-80
Гниль	18-24	>25

Если произошло гниение древесины, то загнившую часть необходимо вырезать и уничтожить. Чтобы этого не произошло, необходимо своевременно делать предварительную обработку древесины во время начала строительных работ. Но если не поддерживать определенный микроклимат в помещении, то домовый грибок может полностью разрушить дом за несколько лет.

Так как первопричина гнили – синева и плесень, то создавая неблагоприятные условия для их возникновения можно существенно уменьшить риск появления гнили. Также следует помнить, что оптимальная температура воздуха в жилых помещениях для человека должна быть выше +18 °С (в угловых комнатах выше +20 °С). В холодный период года оптимальная влажность 45-30%, в теплый период – 60-30%.

Из анализа таблицы 1 следует, что для древесины оптимальная температура – +(18..22)°С (уменьшается риск возникновения синева), и влажность 30-45% (уменьшается риск возникновения синева и плесени одновременно). При влажности немного больше 30% может появиться только синева, но риск ее появления очень мал (намного интенсивнее она будет проявляться при влажности 60-80%). Более того, оптимальная для человека температура 18-22°С, неблагоприятна для возникновения синева.

Таким образом, долговечность деревянного дома зависит в большей степени от микроклимата (температуры, влажности, проветривания помещения). Следовательно, возникает необходимость создания автоматизированной системы контроля и поддержания основных параметров микроклимата.

Данная система должна содержать датчики температуры и влажности, увлажнитель воздуха, устройства кондиционирования и обогрева. При отклонении параметров от заданных, включатся необходимые устройства, возвращающие параметры к оптимальным значениям.

Для определения места установки датчика необходимо произвести в доме замеры влажности и температуры. Датчики необходимо располагать в местах наибольшей влажности (там наиболее вероятно появление плесени и синева). Здесь же должно располагаться устройство вентилирования. Устройство обогрева должно располагаться в са-

мом холодном месте. Увлажнитель воздуха можно расположить в любом месте.

Рассмотрим расположение датчиков на примере дома №31/1 по улице Татарской. Данный дом относится к памятникам деревянной архитектуры Татарской слободы конца 19 - начала 20 века. Поэтому остро стоит проблема поддержания удовлетворительного состояния дома и продление срока его службы.

Определив места с наивысшей влажностью, устанавливаем в них датчики (Рис. 1). Датчики также устанавливаются снаружи дома, что позволяет получать точную информацию о температуре и влажности на улице. [1]

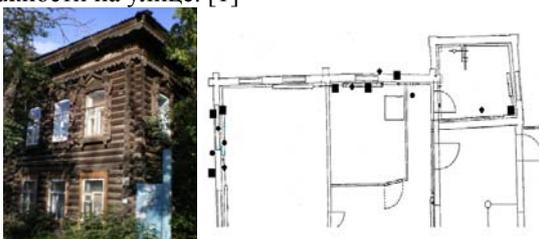


Рис. 1 – Расположение датчиков в доме №31/1 по улице Татарской (квадраты – датчики температуры, точки – влажности)

В работе используются датчики температуры и влажности LT/LF. Датчик температуры представляет собой терморезистор (Рис. 2), датчик влажности – конденсатор с диэлектриком, диэлектрическая постоянная которого зависит от влажности. Данные датчики могут включаться совместно, тогда мы получаем информацию о влажности и температуре сразу.



Рис. 2 – Датчика температуры LT

Информация с датчиков передается на блок измерения, содержащий АЦП и стабилизатор напряжения, который преобразует аналоговые сигналы с датчиков в цифровой вид, и передает далее по проводам к следующему блоку. К одному блоку можно одновременно подключать до 12 датчиков. Блоки соединены между собой последовательно и образуют кольцевую систему. С выхода последнего блока информация поступает на компьютер (Рис. 3).

Мониторинг показаний датчиков выполняется компьютером с использованием программы «Т/Н DATA Logger», разработанной немецким профессором Харальдом Гаррехтом (Harald Garrecht) [2].

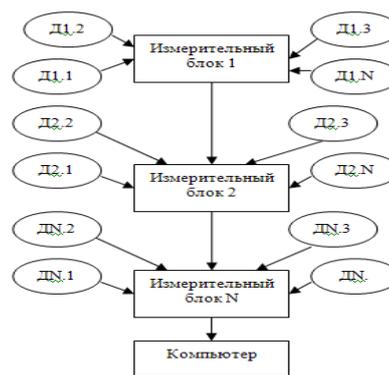


Рис. 3 – Структура измерительной системы

В программе каждому датчику присваивается оригинальное имя, которое содержит измеряемый параметр и расположение датчика. Например «LT Keller» - датчик температуры в подвале.

Данная программа выдает информацию в виде графика (Рис. 4). Можно выбирать датчики, показания которых будут отображаться на графике.

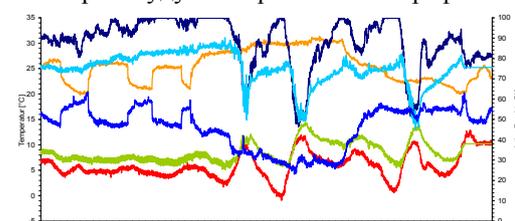


Рис. 4 – Графики изменения температуры и влажности в различных частях помещения

Т/Н DATA Logger автоматически сохраняет всю измеренную информацию на жесткий диск, что позволяет сопоставлять показания, полученные в различное время, составлять подробный график изменения микроклимата.

Таким образом, с помощью данной системы можно получать точную информацию и поддерживать оптимальные параметры влажности и температуры отдельно для каждой части и для всего дома в целом. Представленная система мониторинга позволяет свести к минимуму процессы разрушения древесины.

#### Список литературы:

1. Харальд Гаррехт (Harald Garrecht). Erhalt der historischen Holzhäuser in Tomsk / Sibirien, TUD.2009.
2. Симон Риб (Simone Reeb), Харальд Гаррехт (Harald Garrecht), Елена Александракис (Elena Alexandrakis). Analysis of climate stress on the Ottoman wall paintings of St. George – Ile Reichenau. Darmstadt Concrete.2011. С.77-78.

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ»

Риферт К. П.

Научный руководитель: Торобеков Б. Т., к.т.н., профессор  
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,  
720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Мира, 66  
E-mail: [Kristina\\_Rustam@mail.ru](mailto:Kristina_Rustam@mail.ru)

В современных условиях приоритетом образовательной политики страны является обеспечение качества образования, как необходимого условия развития общества. В программных документах сферы образования необходимость обеспечения качества декларируется как фактор, определяющий конкурентоспособность, условия интеграции в мировое образовательное пространство, а также национальную безопасность государства.

Национальная система образования вступает в новую фазу развития, а мерилем деятельности вузов становится увеличение их вклада в развитие общества. Центральной задачей на этом пути становится проектирование образовательных систем, прогнозирование их развития, управление и оценка их качественного уровня. Решение указанных задачи занимает одно из основных мест в реформах, выступая одновременно в качестве цели их проведения [1, 2].

В Кыргызской Республике на современном этапе в силу относительно недостаточного социально-экономического уровня развития страны и с учетом современного состояния системы высшего образования основной тенденцией должно быть внедрение внутренней системы оценки качества вузов на основе различных моделей управления качеством.

Управление качеством образования в вузах представляет собой сложную многоуровневую систему, для которой в республике еще не разработаны нормативно-правовое обеспечение и ее концептуальные основы. При этом управленческие решения на различных уровнях подразделений и уровень организации учебной деятельности работы вуза подразумевают высокое качество образования.

Вопросы рассмотрения проблем качества, создания системы его управления в вузах и их реализация еще не имеют разработанных теоретической базы и методологии. Отсутствуют методические пособия по менеджменту и оценке качества образования, соответствующие законодательству в высшем образовании Кыргызской Республики. В связи с этим изучение и развитие имеющихся исследований и международной практики по методологии и технологии внедрения системы оценки и управления качеством образования является необходимым для реформирования профессионального высшего образования страны [3].

Необоснованный рост количества вузов, а также их структурных подразделений и филиалов с недостаточной учебно-материальной базой, снижение удельного числа квалифицированных науч-

но-педагогических кадров, увеличение приема набора студентов на платной основе привели к ухудшению качества образовательных услуг.

Кардинальные изменения, связанные с переходом на рыночные отношения привели к росту количества студентов, который, к сожалению, не сопровождался повышением качества образования.

Так, численность студентов в Кыргызской Республике по сравнению с 1991 г. возросла более чем в 4 раза и на начало 2010-2011 учебного года составила 231 тыс. человек.

В настоящее время в стране подготовку специалистов с высшим образованием осуществляют 51 вуз. Из них государственными являются 32 вуза, а 19-негосударственными. При этом число вузов в республике с 1991 г. возросло более чем в 4 раза. Качественный состав профессорско-преподавательского состава вузов не превышает 28%.

**Таблица 1. Характер системы высшего образования КР**

1. Число вузов	51
государственных	32
негосударственных	19
2. Филиалы зарубежных вузов СНГ	7
3. Численность студентов	231 000 чел.
4. Профессорско-преподавательский состав	14 000 чел.
докторов наук, профессоров	940 чел (6,7 %)
кандидатов наук, доуентов	3 000 чел. (21,4 %)
5. Число обучаемых специальностей, направлений	256

Система обеспечения качества высшего образования в Кыргызстане состоит из следующих компонентов: общереспубликанского тестирования школьников, поступающих в вузы, служб внутреннего обеспечения качества образования вузов, государственного лицензирования программ высшего образования, государственной аттестации программ высшего образования и вузов.

Качество образования в Кыргызской Республике в настоящее время характеризуется низким его уровнем и не соответствует требованиям современного образовательного процесса, что объясняется следующими недостатками:

- несовершенство законодательства в сфере образования, отсутствие общепринятой национальной системы оценки и управления качеством образования;
- недостаточная укомплектованность учебным оборудованием и информационно-телекоммуникационными средствами;
- отсутствие системы повышения квалификации ППС;
- отсутствие мотивации студентов к получению качественного образования в связи с уменьшением востребованности выпускников на рынке труда;
- отсутствие должной связи между рынком труда и системой образования;
- ослабление конкурса и увеличение приема вузами абитуриентов на обучение на платной основе, снижение качества обучения в школах страны, несовершенная система тестирования абитуриентов;
- отсутствие внутривузовских систем оценки качества знаний;
- несоответствие механизмов государственной аттестации и методов оценки образовательной деятельности;
- отсутствие системы аккредитации;
- недостаточная интеграция системы высшего образования страны в мировое образовательное пространство.

Современное состояние системы высшего образования страны достигнутое в условиях перехода к рыночной экономике и суверенного развития определяется качественными неоднозначными параметрами, которые не соответствуют установленным критериям мировых образовательных стандартов. В этих условиях проведение реформирования системы высшего образования с целью создания системы управления качеством высшего профессионального образования в соответствии с интеграционными процессами становится задачей первостепенной государственной важности.

В целях обеспечения требуемого уровня качества, соответствующего мировым образовательным стандартам целесообразно проведение сле-

дующих мероприятий, осуществляемые на следующих уровнях управление высшим образованием [3]:

*Системный (национальный) уровень.*

- разработка нормативно-правовых документов; создание соответствующих структур по оценке качества образования; пересмотр программ лицензирования и госаттестации; создание национальной системы оценки качества образования; введение государственной и общественной аккредитации; привлечение институтов гражданского общества и рынка труда к контролю качества; введение определения рейтинга вузов.

*Институциональный уровень.*

- введение внутривузовской системы оценки качества; мониторинг трудоустройства; обеспечения эффективности мониторинга знаний студентов и государственной аттестации студентов; реализация системы повышения квалификации ППС; обеспечение соблюдения критериев лицензирования, государственной аттестации и аккредитации.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Система высшего образования и образовательные стандарты в Кыргызской Республике.: Аналитический доклад. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 76 с.
2. Высшее образование в Центральной Азии. Задачи модернизации – Washington DC 20433, USA, The World Bank 2007г. – 214 стр.
3. Торобеков Б.Т. Теория и практика управления качеством образования. В сб.: «Проблемы обеспечения качества высшего образования в университете.» Мат. научн.-метод. Сем.» / Сост. Н.Ф. Петров, Б.Э. Таштобаева — Бишкек. 2006, С. 9—15.

## НЕОБХОДИМО ЛИ В РОССИИ ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ISO 50001?

Савельева В. А.

Научный руководитель: Янушевская М. Н.

Национальный исследовательский томский политехнический университет,

E-mail: [valysha5555@mail.ru](mailto:valysha5555@mail.ru)

«Потенциал снижения энергоёмкости в нашей стране настолько велик, что его реализация может привести к экономии 45% потребления энергии»

Константин Цинин, ген. директор ЖКХ РФ

Общепризнано, что одними из основных проблем современного мира являются проблемы, связанные с глобальным потеплением, парниковым эффектом, техногенными и природными катастрофами. Согласно исследованиям межгосударственной группы экспертов по изменению климата ООН, повышение средней температуры воздуха на земле после начала промышленной революции во второй половине XVIII в. увеличилось на 0,7°C и продолжает повышаться примерно на 0,16°C за десятилетие. На первый взгляд эта цифра может показаться незначительной, но их последствия могут изменить весь мир. Уже сейчас ученые отмечают уменьшение высокогорных ледников на всей нашей планете, ускорение таяния полярных льдов, что может привести к повышению уровня Мирового океана, и как следствие к затоплению больших территорий, где сейчас проживает большое число людей. Так же нельзя не отметить рекордное количество экстраординарных погодных явлений в прошедшем году, которых было около 460.

Какова же главная причина большинства этих явлений? Очень сильное негативное воздействие на природу оказывают вырубка лесов и сжигание различного вида топлива, таких как нефть, газ и уголь. Бесконтрольная вырубка лесов приводит не только к уменьшению водных ресурсов, например к обмелению рек, но и к уменьшению переработки углекислого газа в кислород. Сжигание топлива приводит к выделению вредных газов в окружающую среду. Борьба за сохранение лесов является задачей государственных деятелей и общества в целом.

Для решения второй проблемы со стороны государства могут применяться различные методы, в основе которых будет лежать принудительный характер. Поэтому подумаем, как же мы можем способствовать уменьшению сжигания топлива?

Для начала рассмотрим примеры других стран. В Дании за последние 25 лет ВВП увеличился в два раза, но при этом энергопотребление выросло лишь на 5%. Китай снизил энергоёмкость своей экономики с 1980 г. на 70%. Что мы наблюдаем в России? Энергоёмкость российского ВВП в 2,5 раза выше среднемирового уровня энергоёмкости и в 3,5 раза выше уровня энергоёмкости развитых стран. О чем это говорит? Оказывается, в России, что бы произвести единицу продукции, сжигается

в среднем в 3 раза больше топлива, и как следствие, выделяется больше парниковых газов.

Далее рассмотрим в чем же причина столь большого потребления энергии в России и как с этим можно бороться. В России ЖКХ характеризуется низкой энергоэффективностью. Иногда потери тепла составляют более 2/3 от общего уровня потребления. Одной из причин тепловых потерь являются окна и стены с низкими теплосберегающими характеристиками, через которые уходит не менее 20 % всей тепловой энергии, получаемой домом. Так же очень важно переходить к использованию энергоэффективных бытовых приборов, которые используют в 2-3 раза меньше энергии в отличие от старых аналогов.

Например, рассмотрим девятиэтажный дом, с точки зрения энергоэффективности. В 2009 году в таком доме был проведен капитальный ремонт в рамках реализации федеральной программы. Была модернизирована отопительная система здания. Старый элеваторный тепловой узел заменили на автоматизированный узел управления с погодозависимым регулированием. Так же произведена заделка швов и трещин фасада и установили узел учета тепловой энергии, а его жильцов перевели на расчеты за тепло в соответствии с показаниями домашнего теплосчетчика. В итоге, экономия тепла за 2009-2010 гг. составила 41,5%. В денежном выражении экономия составила 3596 рублей для стандартной двухкомнатной квартиры, и более 480 тыс. рублей по всему дому. Учитывая, что на установку теплоузла и узла учета было затрачено около 600 тыс. рублей, то проект окупился бы через полтора года, если бы жители сами производили установку. Это очень хорошие результаты, но для этого необходимо немного больше времени, что бы капиталовложения окупались. С другой стороны, это вложения в бесценное будущее нас, наших детей, нашей страны.

В организациях для сбережения энергии нам поможет система энергоменеджмента, основанная на стандарте ISO 50001. Эта система позволяет организации применять системный подход для обеспечения непрерывного повышения энергетических параметров, эффективности использования энергии и энергосбережения. Стандарт ISO 50001 устанавливает требования к организации по созданию, реализации, поддержанию и улучшению системы энергоменеджмента. Он распространяется на все факторы, связанные с использованием энергии, которые можно контролировать и которые влияют на организацию. Сам по себе стандарт не устанавливает конкретных критериев оценки энергоэффективности. Он разработан для самостоятельного

использования, но может быть согласован и интегрирован в другие системы управления. Внедрение стандарта должно привести к сокращению финансовых затрат, выбросов парниковых газов и других воздействий на окружающую среду путем систематического управления энергией.

Одним из важных документов энергоменеджмента является энергетическая политика. Энергетическая политика – это официальное заявление руководства компании о приверженности энергоэффективности. Она должна включать как минимум 4 обязательства по непрерывному повышению энергоэффективности, ресурсы, необходимые для достижения поставленных целей и задач, и соответствие правовым и другим обязательствам, взятым на себя организацией. Политика способствует внедрению и постоянному повышению энергоэффективности.

Так же в данном стандарте дается понятие энергетического профиля (статуса энергетических параметров) организации. Для совершенствования энергетического профиля организация должна:

а) проводить анализ использования энергии на основе измерений и других данных;

б) на основе анализа использования энергии, определить места значительного потребления энергии (помещения, оборудование, системы, процессы); выявить другие факторы, влияющие на использование энергии; определить текущую эффективность установок, оборудования, систем и процессов с выявленным значительным использованием энергии;

в) расставить по приоритетам возможности для увеличения энергоэффективности.

В организации должны проходить внутренние аудиты, в результате которых мы наблюдаем - соответствует ли система энергоменеджмента организации требованиям, предъявляемым стандартом; все ли планы и процессы энергоменеджмента выполняются на практике, и насколько эффективно и результативно действуют элементы системы.

Так же организация должна гарантировать, что ключевые характеристики ее операций, которые

определяют энергоэффективность, проходят мониторинг, измерение и анализ в планируемые интервалы.

Часть элементов энергоменеджмента, основанного на стандарте ИСО 500001, являются общими с элементами систем менеджмента качества, экологического менеджмента, охраны труда. К примеру, для работы данной системы очень важно участие всех сотрудников организации. Например, для достижения понимания решаемых энергоменеджментом задач, американские компании применяют внутренние соревнования между подразделениями, поощрения в виде призов по результатам конкурсов в области энергосбережения, выплаты денежных бонусов. В России в современное время правительство так же уделяет огромное значение энергосбережению. Президентом и правительством Российской Федерации сравнительно недавно была поставлена очень важная стратегическая цель - снизить к 2020 году потери энергии на 40% от уровня 2008 года. Такая цель впервые за много лет ставится в России, аналога подобного стратегического планирования в других странах СНГ, в том числе в Украине, пока нет. Одновременно, энергосбережение в РФ впервые получает наивысший приоритет, войдя в 6 наиболее приоритетных стратегических государственных целей. Впервые был принят закон об энергоэффективности прямого действия. Перспективы энергосбережения в нашей стране огромны, нужно только рационально использовать энергоресурсы. А так же для устранения упомянутых выше проблем, конечно, прежде всего, необходима поддержка всего российского общества.

#### Литература:

1. Ермакова А. «Бережливость-стиль жизни»// Управление качеством. 2011-№6.
2. ISO50001-2009 Системы энергоменеджмента - требования с руководством по применению.

## УПРАВЛЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ СТУДЕНТОВ: ОПЫТ УПОРЯДОЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВУЗА

Сафина А.Ф.

Научный руководитель: Горбушина С.Н., д.п.н., профессор

Уфимский государственный авиационный технический университет, 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

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

Реформа системы высшего профессионального образования вносит существенные перемены в жизнь современного вуза. Со вступлением в силу закона о двухуровневой системе вузы призваны обеспечить качество профессиональной подготовки на каждой из ее ступеней, подразумевая выполнение специфических для бакалавриата и магистратуры ГОС и итоговую аттестацию. Вместе с тем их объединяет повышенное внимание к организации и управлению самостоятельной учебной деятельностью студентов.

Изучение опыта организации самостоятельной работы студентов (СРС) показывает, что в настоящее время проблема организации данного вида деятельности имеет место во многих вузах: отсутствие четких методик организации, нерациональное использование времени, выделяемое на СРС, несистемность управления, слабый контроль, слабо выраженная направленность на развитие творческой активности студентов [1, 2, 3, 4]. Систематизируя существующие проблемы можно сказать, что процесс осуществления СРС на сегодняшний день является слабоуправляемым. Переход на новые образовательные стандарты требует ещё большей актуализации этой проблемы.

Поэтому для повышения эффективности СРС должна быть выстроена система организации и управления с такими структурными компонентами как цель, задачи, содержание, организационно-деятельностный и контрольно-регулирующий компоненты, учитывающая все ее формы, обеспечивающая отбор учебной информации и средств педагогической коммуникации, с продуманной ролью студента в этом процессе и участием преподавателя.

Согласно образовательным стандартам на долю СРС приходится от 50% и более учебного времени от общей трудоемкости учебных дисциплин. Такой объем самостоятельной работы обуславливает необходимость ее упорядочения в условиях конкретного образовательного учреждения.

Это позволит рационально планировать самостоятельную работу и эффективно ее осуществлять, тем самым повысить качество обучения, развить творческие способности студентов, их стремление к непрерывному приобретению новых знаний, учесть приоритетность интересов студентов в самоопределении и самореализации, то есть достичь высокого уровня научно-практической подготовки будущих специалистов.

Рассматривая СРС как объект упорядочения можно сказать, что она обладает всеми необходимыми признаками объекта стандартизации [5]: является многократно повторяющимся, часто используется, может подвергаться моделированию, обладает достаточным количеством свойств, может подвергаться унификации и типизации.

Вместе с тем, СРС имеет свою специфику. Так, понимая под самостоятельной работой вид познавательной деятельности студентов, осуществляемой по

заданию преподавателя, можно сказать, что она в процессе обучения многократно повторяется. При отборе объектов стандартизации из всей совокупности объектов и действий над ними выбираются повторяющиеся объекты, в самостоятельной работе студентов повторяющимися являются виды заданий, способы контроля их выполнения. Нужно учесть, что процесс стандартизации подвергаются не сами объекты как материальные предметы, а информация о них, отображающая их существенные стороны, признаки, свойства, то есть абстрактная модель реального объекта. Для самостоятельной работы студентов такими признаками являются: наличие учебного задания, предъявляемого в качестве самостоятельной работы, наличие для ее выполнения специально отведенного времени и др. Моделированию подвергается организация самостоятельной работы студентов.

В разных учебных заведениях варианты организации СРС могут быть разными. В частности, возможны разные виды и состав заданий, различное их оформление, использование разных методов контроля и т.д. Задача стандартизации состоит в упорядочении самостоятельной работы путем отбора наилучших вариантов ее организации. Оптимальное решение достигается общенаучными методами и методами стандартизации, такими как унификация и типизация. В результате преобразования получается оптимальная модель стандартизируемого объекта.

Таким образом, самостоятельная работа студентов отвечает всем признакам объекта стандартизации, имеет общие для различных образовательных учреждений признаки и, в то же время, отличается особенностями содержания в зависимости от профиля организации. Поэтому организационные и методологические аспекты совершенствования СРС должны быть отражены в специальных нормативных документах, разработка которых, с учетом возрастающих требований к качеству подготовки высококвалифицированных специалистов, является сегодня актуальной.

Стандарт вуза как нормативный документ призван обозначить комплекс требований к организации самостоятельной работы студентов на основных концептуальных положениях ГОС ВПО, выраженных парадигмой компетентностного подхода. Компетентностный подход ориентирует описание подготовленности студентов к профессиональной деятельности через компетенции. Среди компетенций выделяют общие (универсальные, ключевые), используемые в различных видах профессиональной деятельности и профессиональные (специальные), ограниченные рамками определенного вида трудовой деятельности. В своей совокупности они определяют уровень компетентности выпускника для самостоятельного и ответственного решения конкретных производственных задач, применяя для этого полученные в вузе

знания, умения, опыт профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Для улучшения процедур по обеспечению качества подготовки специалистов нами был разработан стандарт организации (университета) «Самостоятельная учебная работа студентов. Планирование, организация, контроль и улучшение». Целью стандарта является систематизация и регламентация процессов организации и управления СРС для повышения ее результативности и эффективности.

Стандарт решает две взаимосвязанные задачи: обеспечение возможности управления СРС и обеспечение возможности развития знаний, умений и навыков самообразования студентов средством самостоятельной работы.

Стандарт вуза адресован основным пяти группам *пользователей*: высшему руководству вуза (ректор и его заместители) – для формулирования стратегических задач в области организации и управления СРС; анализа результативности, эффективности и перспективы развития; учебному отделу вуза – для управления самостоятельной учебной деятельностью студентов на уровне тактических задач, координации деятельности различных подразделений вуза, организации обратной связи посредством текущего, промежуточного и итогового контроля, разработки общих корректирующих (предупреждающих) действий по улучшению данного процесса; факультетам (кафедрам) – для организации СРС с учетом направления и специализации профессиональной подготовки студентов, координации деятельности преподавателей; преподавателям – для непосредственного руководства СРС, организации оперативной обратной связи о ее результативности, внесения конкретных корректирующих (предупреждающих) действий; студентам – для самоорганизации собственной учебной деятельности.

Учитывая особенности самостоятельной учебной деятельности на сегодняшний день: слабую структуризацию, отсутствие современных видов работ, размытость признаков самостоятельной работы, стандарт по организации и управлению СРС включает следующие разделы: общие положения; виды СРС; структура СРС; признаки СРС; функции СРС; планирование СРС; организация СРС; контроль СРС;

улучшение СРС; разработка документации, обеспечивающей СРС.

Каждый из перечисленных разделов подробно описывается в разработанном нами стандарте организации «Самостоятельная учебная работа студентов. Планирование, организация, контроль и улучшение».

В приложении стандарта приведены модель процесса управления самостоятельной учебной работой студентов технического вуза, матрица ответственности и формы документов, обеспечивающих СРС: перечень заданий и график выполнения самостоятельной работы.

Таким образом, в стандарте сделана попытка систематизировать накопленный опыт организации и управления самостоятельной работой студентов исходя из требований компетентностного подхода. В документе уточнены объекты и виды самостоятельной работы при двухуровневой профессиональной подготовке студентов, описаны функции преподавателей и самих обучающихся при выполнении самостоятельных заданий, критерии и показатели результативного исполнения самостоятельных работ, а также направления деятельности по улучшению качества организации СРС в условиях инновационной деятельности современных вузов.

#### Список литературы:

1. Григорян В.Г. Роль преподавателя в организации самостоятельной работы студентов / В.Г. Григорян, П.Г. Химич – Высшее образование сегодня. – 2009 – № 11. – С.108 – 114.
2. Калининская С.Б. Педагогический контроль как условие самовоспитания студентов / С.Б. Калининская, Л.К. Фортова – Педагогика. – 2010. - №1 – С.115-116.
3. Сафина А.Ф. Реальность и ожидания студентов в отношении организации самостоятельной учебной работы / А.Ф. Сафина, С.Н. Горбушина – Высшее образование сегодня. – 2010 – № 6. – С. 66-67.
4. Сенашенко В. Самостоятельная работа студентов: актуальные проблемы / В.Сенашенко, Н. Жалнина – Высшее образование сегодня. – 2006 – № 7. – С.103 – 109.
5. ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации Основные положения.

## ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА В РОССИИ

Семенова Е.А., Бюллер А.К.

Научные руководители: Янушевская М.Н., ст. преподаватель, Кошелева Е.Ю., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [kate140193@gmail.com](mailto:kate140193@gmail.com)

Качество - степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям. Качество продукции и услуг - главный фактор конкурентоспособности. Цель управления качеством - достижение более высокого уровня качества продукции и услуг.

В современном бизнесе конкурентоспособность компании зависит от качества менеджмента организации. В России с каждым годом все большее число руководителей видят стабильность своих предприятий в отлаженной системе управления, отвечающей мировым стандартам. Проблема качества менеджмента тем более актуальна в свете вступления России в ВТО и появления конкуренции со стороны иностранных компаний. Задача руководителей российских компаний и проста и сложна одновременно – "не изобретать велосипед", а постепенно и целенаправленно перенимать более чем полувековой опыт управления у зарубежных компаний, учитывая национальную специфику, а также учиться на примерах отечественных предприятий-лидеров. Опыт внедрения качества в российском бизнесе, проблемы и ошибки указывают на массу подводных камней, которые сегодня мешают адекватному восприятию новой бизнес-философии.

**Эволюционный разрыв в 50 лет.** На западе основной движущей силой развития всеобщего управления качеством является потребитель. В административно-командной системе Советского Союза спрос и предложение были предметом государственного планирования, конкуренция между производителями отсутствовала. Искусственное моделирование рынка не только не способствовало, но, наоборот, противоречило философии качества. Наследство советской системы можно перебороть только эволюционным путем. Преимущество настоящего положения России в том, что этот путь может быть гораздо короче, т.к. накопленные мировые знания, опыт, а также ошибки и неудачи уже известны.

**Расстановка акцентов в понимании качества.** В СССР качество означало соответствие стандарту. Такое понимание крепко осело и до сих пор превалирует в головах российских управленцев. Кроме этого, советским системам качества присущие следующие недостатки, которые не позволяют рассматривать эти подходы как современную альтернативу TQM (Total Quality Management):

- ограниченность сферы действия (для ранних подходов);
- отсутствие ориентации на потребителя;
- экономическая незаинтересованность предприятий;
- несистемный подход к системе (для позд-

них подходов).

Таким образом, советский опыт можно рассматривать как одну из эволюционных стадий развития философии TQM в российском бизнесе, при условии ясного понимания того, что движущей силой движения качества в России были интересы государства, в отличие от запада, где детерминантой являлся потребитель и его интересы. Кроме того, советский опыт сформировал школу, готовящую специалистов в области качества, что является одновременно и неоспоримым преимуществом России и подводным камнем при реализации задачи внедрения TQM в России.

**Специалисты в области качества.** Специалисты имеют техническое образование, но современный менеджмент качества давно вышел за рамки математики и статистики, а требования к специалисту в области качества – это знание экономики и менеджмента. Акцент в процессе подготовки специалистов не всегда делается в пользу менеджмента, и этот факт непременно отразится на дальнейшей профессиональной деятельности выпускников, и, следовательно, на компаниях, где они будут работать.

**Использование современных методов совершенствования.** Как уже было сказано выше, многие подходы к улучшению системы управления организации и повышению ее конкурентоспособности основаны на принципах TQM. Часть современных подходов уже используется и в российском бизнесе. Это ИСО 9000, премии в области качества, бенчмаркинг, самооценка. Насколько эффективны эти методы и инструменты на российской земле? Ответ не может быть однозначным. Подходы совершенствования возникают эволюционно и имеют методологическую и практическую базу. Менеджеры западных компаний воспринимают ориентацию на потребителя, непрерывное совершенствование, процессный подход, вовлечение и заинтересованность работников, социальную ответственность бизнеса, как неотъемлемые принципы ведения бизнеса. В российский же бизнес эти принципы вводятся искусственно, поэтому проблема адаптации западных подходов выходит на первый план. Руководители, с одной стороны, понимают, что менять философию необходимо, с другой стороны, существует масса барьеров: незнание как и что менять, сопротивление работников, непонимание коллег и партнеров по бизнесу.

Самооценка организации – это эффективный инструмент, прочно занимающий свое место среди современных подходов к управлению. Однако в России самооценка не реализована и малой части своего потенциала. Кроме финансовых показате-

лей, российские руководители мало что оценивают в организации. Причин тому несколько. Во-первых, отсутствие критериев для оценки или незнание методик самооценки. Во-вторых, происходит серьезное искажение данных при вовлечении в процесс самооценки менеджеров среднего звена и работников. – Желание приукрасить существующее положение дел, чтобы угодить руководителю, боязнь указать на ошибки и просчеты, а также русская народная мудрость "инициатива наказуема" – все это мешает объективной оценке организации. В-третьих, руководители компаний крупного бизнеса перекалывают всю деятельность по оценке качества на соответствующие подразделения компании, в малом же бизнесе руководители знают области для первоочередных улучшений и не видят смысла в "бесполезной, на их взгляд, трате времени и сил".

Анализируя любой из инструментов совершенствования, мы приходим к одному выводу, что отсутствие базовой культуры TQM мешает эффективному внедрению и применению этих инструментов в российском бизнесе. Ожидать вовлечения компании в процесс совершенствования, когда культура и философия качества на этом предприятии отсутствует или создана только на бумаге – это означает "ставить телегу впереди лошади". Нельзя совершенствовать то, чего еще нет. Сначала формирование культуры качества – и только затем ее совершенствование. Первый шаг здесь – повернуться лицом к потребителю, не декларативно, а реально. И это следующий подводный камень.

**Удовлетворение потребителей.** Мнение потребителя стало важным для российских компаний, когда пришлось за него бороться. Российские компании уже довольно хорошо овладели навыками исследования рынка и привлечения новых клиентов. Однако удовлетворение потребителей означает лишь умение навязать свой товар, удовлетворение потребителей – это искусство дать потребителю то, что он ожидает и даже больше. Для российских менеджеров важно прочувствовать логическую цепочку с точки зрения потребителя: покупка – удовлетворение – повторная покупка. Для зарубежных компаний ставится задача не столько найти новых клиентов, сколько удержать уже имеющихся, т.е. увеличить долю постоянных клиентов. Российскому бизнесу следует осознать, что удовлетворение потребителей – это лояльность

к компании, чем больше лояльных клиентов, тем увереннее компания чувствует себя на рынке.

Еще один фактор, связанный с удовлетворением потребителей – это одностороннее восприятие клиентов – только как конечных покупателей продукта или услуги. Концепция внутреннего потребителя, когда следующий процесс является потребителем предыдущего, не используется в большинстве российских организаций, так как компании редко рассматривают свою деятельность как совокупность процессов. Но именно процессный подход является одним из основных принципов TQM, и качество каждого отдельного процесса организации составляет качество в целом. Качественный бизнес-процесс обеспечивает удовлетворение своих внутренних потребителей, что позволяет произвести в итоге качественный продукт или услугу.

**Вывод:** Внедрение TQM в России, как и любые перемены, связанные с переходом к рыночной системе хозяйствования, сопровождаются рядом барьеров, одни из которых – наследие советского прошлого, другие – объективная реальность настоящего.

Успех и реализация потенциала российского бизнеса в первую очередь зависит от адекватного восприятия происходящего всеми участниками процесса. Каждый из них, не питая иллюзий, обязан профессионально выполнять свою роль:

потребители – защищать и отстаивать свои интересы;

компании – удовлетворять требования и пожелания потребителей;

наука – формировать научную и методологическую базу для адаптации философии качества;

образование – готовить грамотных специалистов для осуществления преобразований;

государство – устанавливать вектор развития и способствовать формированию культуры качества в политике, в экономике, в социальной сфере.

Рынок, в свою очередь, являясь макроэкономическим регулятором и индикатором, обеспечит эволюционное развитие процесса внедрения TQM в России, динамика же этого процесса зависит от эффективности деятельности каждого из его участников.

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА

Славгородская О.И., Бондалетов В.Г.

Научный руководитель: Бондалетов В.Г., к.х.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [slavgorodskayaoi@gmail.com](mailto:slavgorodskayaoi@gmail.com)

### ВВЕДЕНИЕ

При промышленной переработке нефтепродуктов пиролизом углеводородного сырья кроме целевых газообразных продуктов (этилен, пропилен) образуются побочные продукты, так называемые жидкие продукты пиролиза, количество которых составляет 30 % и более в зависимости от характеристик используемого сырья и режима процесса пиролиза[1].

Экономическая и экологическая эффективность современных нефтехимических производств определяющим образом связана с квалифицированным использованием вторичных продуктов и отходов. Наиболее прогрессивным способом является получение востребованных продуктов более глубокого передела, находящихся применение в различных областях промышленности. Одним из способов использования вторичных продуктов пиролиза является получение нефтеполимерных смол (НПС) – продуктов олигомеризации жидких продуктов пиролиза. Проблемы в работе с НПС связаны с их относительным разнообразием и ограниченной совместимостью со многими материалами, что, в свою очередь, связано с отсутствием функциональных групп в их структуре. Одним из направлений исследований в этой области является эпексидирование.

Процесс эпексидирования НПС еще недостаточно полно изучен. Ранее интересные результаты по эпексидированию олигомеров были получены при использовании систем, содержащих пероксид водорода [2-4].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе исследован процесс эпексидирования НПС, полученной термической полимеризацией фракции  $C_9$ , надуксусной кислотой. Окисление 50 %-го раствора НПС в толуоле проводили системой  $H_2O_2 : CH_3COOH$ , причем массовое соотношение НПС :  $H_2O_2 = 1 : 0,3$ , а мольное соотношение  $H_2O_2 : CH_3COOH$  варьировали от  $1 : 0,3$  до  $1 : 1,5$ . В качестве катализатора была выбрана серная кислота. Модификацию проводили при  $75^\circ C$  в течение 4 часов. Нейтрализацию кислоты проводили многократной промывкой реакционной массы водой до  $pH = 7$ . Отделенный от водного слоя органический слой сушили на воздухе при  $20 - 25^\circ C$ . Полученная НПС представляет из себя твердое вещество от желтого до светло-коричневого цвета. Структура исходного и окисленных образцов смолы была исследована методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм-ФТ 801» в диапазоне длин волн  $600 - 4000\text{ см}^{-1}$ , титриметрическими методами проводили определение бромного и эпексидного чисел.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При анализе ИК-спектров (рис. 1) было установлено, что для исходной НПС характерны полосы поглощения при  $1601\text{ см}^{-1}$ , что соответствует колебаниям олефиновых связей  $C=C$ , и многочисленные полосы малой интенсивности при  $1700 - 2000\text{ см}^{-1}$ , что соответствует валентным колебаниям ароматических углерод-углеродных связей.

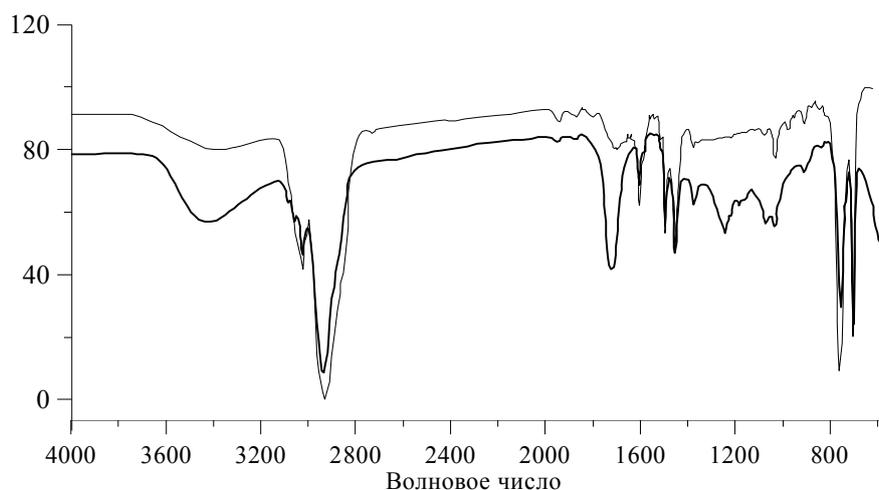


Рис.1 ИК-спектры исходной (1) и эпексидированной (2) НПС $C_9$

Незначительная интенсивность поглощения в области  $1375\text{ см}^{-1}$ , соответствующая деформационным колебаниям групп  $CH_3$  свидетельствует о содержании в молекулах смолы метиленовых групп.

Для ИК-спектров окисленных образцов характерно уменьшение полосы поглощения в области  $1601\text{ см}^{-1}$ , а также появление полосы поглощения в области  $3440\text{ см}^{-1}$  и  $1700\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к коле-

баниям гидроксильной и карбонильной групп. Также отмечено появление полос поглощения в области  $1240\text{ см}^{-1}$  и  $1070\text{ см}^{-1}$ , соответствующих колебаниям эпоксидного кольца и ассиметричным валентным колебаниям эфирной группировки, соответственно.

В таблице 1 приведены значения интегральных интенсивностей (I) характеристических полос поглощения, нормированных по интенсивности поглощения в области  $1493\text{ см}^{-1}$ .

Очевидно, что при увеличении соотношения  $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$  (мольн.) происходит увеличение значений I полос поглощения в области  $3440$ ,  $1700$  и  $1240\text{ см}^{-1}$ .

Таблица 1. Значения относительных интегральных интенсивностей при различных соотношениях  $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{CH}_3\text{COOH}$

Соотношение $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$	Значения относительных интегральных интенсивностей полос поглощения					
	$3440\text{ см}^{-1}$	$1700\text{ см}^{-1}$	$1601\text{ см}^{-1}$	$1240\text{ см}^{-1}$	$1070\text{ см}^{-1}$	10 30
0,11	0	6,89	0	0,06	0,26	0,26
0,3	1,03	1,30	0,52	0	0,26	0,20
0,5	0,91	1,23	0,47	0,30	0,27	0,23
0,75	0,94	1,65	0,55	0,35	0,26	0,22
1	0,95	1,82	0,53	0,43	0,25	0,23
1,5	0,86	1,97	0,53	0,51	0,19	0,23

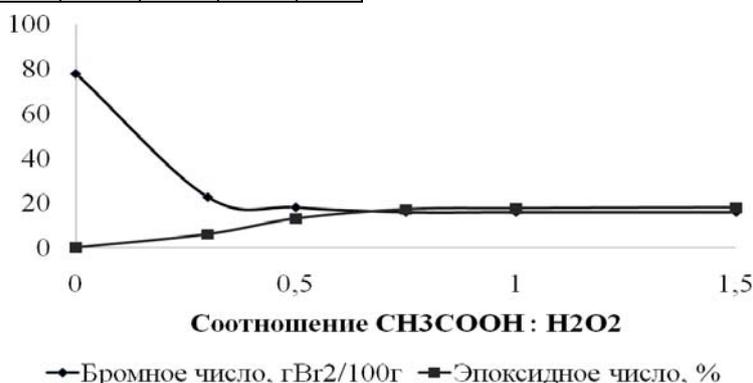


Рис. 2. Зависимость бромного и эпоксидного числа от соотношения  $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$

Данные ИК-спектров хорошо согласуются с данными по эпоксидному и бромному числу (рис.2).

При увеличении мольного соотношения  $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$  происходит увеличение эпоксидного и уменьшение бромного числа. Причем, предельные значения достигаются также уже при соотношении около 0,5-0,7.

Полученные данные позволяют судить о механизме реакции окисления: образование эпоксидных, эфирных и карбонильных групп идет по местам разрыва двойных связей. На это указывает уменьшение значений бромного числа, а также значений I в области  $1601\text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, в данной работе предложен эффективный способ окислительной модификации нефтеполимерных смол, приводящий к появлению эпоксидных и карбоксильных групп в структуре молекулы.

(мольн.)						$\text{см}^{-1}$
Исходная	0,11	0	6,89	0	0,06	0,26
0,3	1,03	1,30	0,52	0	0,26	0,20
0,5	0,91	1,23	0,47	0,30	0,27	0,23
0,75	0,94	1,65	0,55	0,35	0,26	0,22
1	0,95	1,82	0,53	0,43	0,25	0,23
1,5	0,86	1,97	0,53	0,51	0,19	0,23

Это свидетельствует о протекании процесса модификации с образованием преимущественно карбонильных, гидроксильных и эпоксидных групп. Необходимо отметить, что появление полос поглощения, соответствующих колебаниям эпоксидных групп наблюдается при соотношении  $\text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}_2$  равном 0,5-0,7.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Бондалетов О.В., Бондалетова Л.И., Огородников В.Д. и др. Использование циклопентадиеновой фракции жидких продуктов пиролиза в синтезе модифицированных нефтеполимерных смол // [Известия томского политехнического университета](#). – 2010. – № 3. – С. 77-82.
- [2] Bratychak M., Grynshyn O., Shyshchak O., and others. Obtaining of petroleum resins using pyrolysis by-products // *Ecological Chemistry and Engineering*. – 2007 – Vol.14 – №2. – P.325-328.
- [3] Способ эпексидирования олефинов. Пат. 2263671 РФ: МПК <sup>7</sup> C07D301/19, B01J23/28 / Бусыгин В.М., Харлампиди Х.Э., Батыршин Н.Н. и др – заяв. 29.06.2004; опубл. 10.11.2005 – 6с. Grynshyn O, Bratychak M., Krinitskiy V. and others. Petroleum resins for bitumen.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Солонкова В.В.

Научные руководители: Гарапацкий А.А., н.с., Казаков В.Ю., доцент, к. ф.-м. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [vera-solonkova@mail.ru](mailto:vera-solonkova@mail.ru)

### Введение

В последнее время все более широкое распространение получает ядерная медицина – это область медицины, использующая для диагностики или терапии радиоизотопы, в виде радиофармпрепаратов или специальным образом приготовленных закрытых источников излучения.

МИБГ, I-123 - радиофармацевтический диагностический препарат, в котором часть атомов стабильного йода м-йодбензилгуанидина сульфата замещена радиоактивным йодом-123 [1]. Данный препарат является индикатором, используемым в качестве диагностического средства, с помощью которого проводится оценка целостности и функционального состояния различных органов и тканей. По характеру того, как в диагностируемом органе собирается препарат, определяется болезнь.

Все лекарственные препараты должны пройти проверку на качество, согласно стандартам GMP. Так как технология производства любого препарата не исключает возможности изменения его качества, приводящих к негативному влиянию, то обеспечение высокого уровня качества и безопасности лекарственных средств является одной из основных задач их производителей.

Для исключения высокой доли ручного труда при производстве данных препаратов необходимо автоматизировать процессы производства и контроля качества. Автоматизированная система позволит управлять процессом производства на безопасном расстоянии от радиоактивного излучения, а также стабилизировать процесс производства, уменьшив долю ручного труда.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы контроля температуры печи на стадии сублимации при производстве МИБГ, I-123.

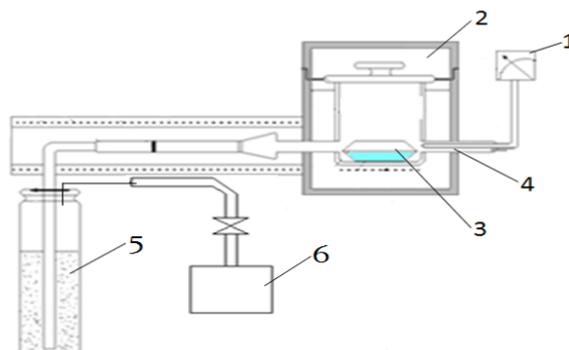
### Технологический процесс производства

Технологический процесс производства радиофармпрепарата «МИБГ, йод-123» осуществляется в 10 стадий [1].

Рассмотрим более подробно третью стадию – стадию сублимации. Схематическая установка для сублимации представлена на рисунке 1.

На дно печи сублимации помещают облученную мишень диоксида теллура облученной стороной вверх и закрывают печь. Затем печь нагревают до 750 °С и выдерживают при такой температуре в течении трех минут, при этом включают подачу воздуха с насоса. Затем печь охлаждают. Выделяющиеся при нагревании пары <sup>123</sup>I захватываются потоком воздуха и поглощаются приемнике с рас-

твором.



1 – регулятор температуры; 2 – печь; 3 - облученная мишень; 4 – термопара; 5 – приемник с раствором; 6 - насос

Рис. 1. Схематическая установка для сублимации

На данной стадии контролируется два параметра: температура печи и мощность дозы изготавливаемого раствора. Необходимость контроля этих параметров обусловлена тем, что мощность дозы нормируется с расчетом на одного человека, а она в свою очередь зависит от температуры нагрева печи.

### Автоматизированная система контроля температуры печи

На рисунке 2 представлена структурная схема системы контроля температуры печи на стадии сублимации.



УИП – управляющий источник питания;

ПО – программное обеспечение;

МЕТАКОН – ПИД – регулятор;

ИУ - интерфейсное устройство

Рис.2. Структурная схема системы контроля температуры печи

Программный ПИД-регулятор МЕТАКОН-613 предназначен для измерения и регулирования температуры. Данный регулятор рекомендуется применять при высоких требованиях по точности поддержания температуры. Прибор может подавать команды, как на нагрев, так и на охлаждение [2]. Управляемый источник питания исполняет эти команды печи. Источником сигнала температуры печи является термопара типа КТХА 01.02 [3]. МЕТАКОН-613 оснащен интерфейсом RS-485. Для подключения ПИД-регулятора к компьютеру использовано интерфейсное устройство I-7520, которое специально предназначено для подклю-

ния промышленных компьютеров имеющих интерфейс RS-232, к сети RS-485 [4].

Задача обмена данными компьютера с регулятором МЕТАКОН была решена в рамках локальной клиент-серверной архитектуры. Для решения этой задачи был использован промышленный стандарт OPC [5], который описывает интерфейс обмена данными между устройствами управления технологическим процессом.

Для реализации обмена данными между МЕТАКОМ и компьютером использован OPC-сервер, разработанный тем же производителем, что и регулятор МЕТАКОН, Научно-производственной фирмой «КонтрАвт». Этот сервер разработан согласно спецификации OPC Data Access версии 2.0, которая обеспечивает доступ к данным в режиме реального времени [4].

Спецификация OPC для обмена данными предусматривает два компонента. Первый – OPC-сервер, а второй – OPC-клиент. Для создания OPC-клиента использована графическая среда LabVIEW. На рисунке 3 представлена лицевая панель виртуального прибора, который является программой-клиентом.

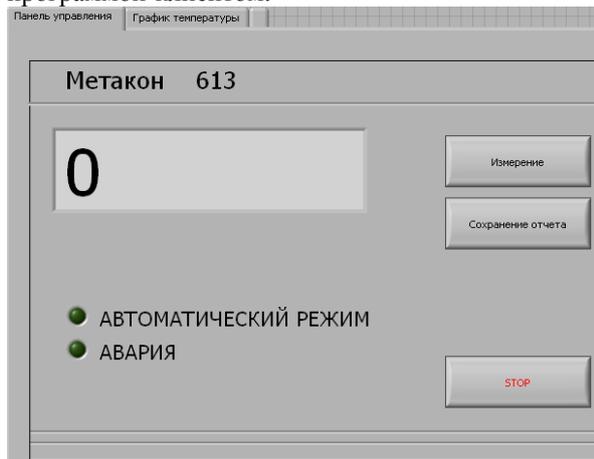


Рис.3. Лицевая панель виртуального прибора

Виртуальный прибор решает следующие задачи: обеспечивает интерфейс пользователя автоматизированной системы; обеспечивает конфигурацию системы и запросы к серверу; отображает результаты измерения температуры; позволяет протоколировать результаты измерений и формировать отчеты.

Реализация этих задач обеспечивает минимальную необходимую функциональность системы для мониторинга температурных параметров производства препаратов.

Работа описанного выше OPC-клиента проведена на реальном технологическом процессе производства радиофармпрепарата МИБГ, йод-123. В результате получена диаграмма хода процесса, представленная на рисунке 4.

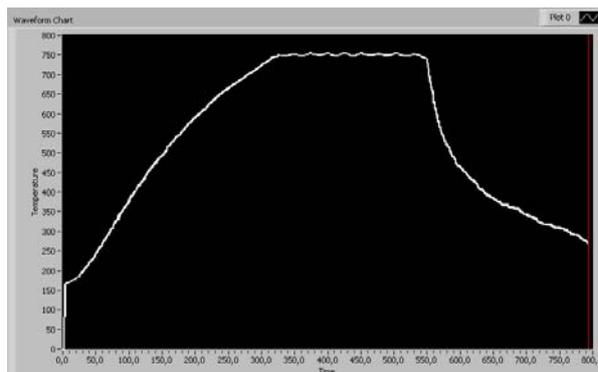


Рис.4. Диаграмма хода процесса

Данная диаграмма соответствует следующим параметрам технологического процесса - сначала печь нагревается до 750 °С, выдерживается в течение 3 минут, а затем охлаждается.

Параллельно с виртуальным прибором проводились измерения оператором, который записывал данные вручную. По окончании измерений данные с виртуального прибора и данные оператора были сверены. Проверка доказала работоспособность системы и точность получаемых результатов.

#### Заключение

В связи с актуальностью производства радиофармацевтических препаратов и высокими требованиями к их качеству в данном докладе приведено описание аппаратного и программного обеспечения автоматизированного контроля температуры печи на одной из стадий производства препарата. Разработанная система позволяет стабилизировать процесс производства, уменьшив долю ручных измерений и исключив человеческий фактор. Кроме того система позволяет повысить безопасность труда, снизив риск облучения работников производства.

#### Список литературы:

- 1 Промышленный регламент ? 02070200-01-09 «МИБГ, <sup>123</sup>I (м-йодбензилгуанидин, меченный йодом-123, раствор для инъекций)». – Изд-во: ТПУ, 2009. – 29 с.
- 2 ПИМФ 421243 РЭ МЕТАКОН-613 программные ПИД-регуляторы. – 58 с.
- 3 ГОСТ 6616 - 94 Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия – М.: ИПК Издательство стандартов, 1994
- 4 КонтрАвт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.contravt.ru>, свободный. – Загл. с экрана
- 5 Технология OPC. Основные принципы и преимущества. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.itv.ru/download/documentation/intellect/html/index.html?int\\_scada.htm](http://www.itv.ru/download/documentation/intellect/html/index.html?int_scada.htm), свободный. – Загл. с экрана

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ АНТИТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК

Станкевич В.С., Коновалов К.Б.

Научный руководитель: Несын Г.В., д.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

Полимерные антитурбулентные присадки (АТП) применяются для снижения гидродинамического сопротивления (ГДС) при транспортировке углеводородов. Добавление АТП в нефтепровод в количестве не более 10...30 г на тонну нефти позволяет увеличить пропускную способность трубы на 20 % и более [1]. Опытно-промышленные испытания АТП являются трудоемкой и затратной процедурой [2], поэтому предварительная оценка эффективности и качества АТП до введения ее в промышленный трубопровод является актуальной задачей. Целью настоящей работы явилась разработка методики экспериментальной оценки эффективности АТП. В ходе работы решались следующие задачи: обоснование критериев качества АТП, разработка и экспериментальная проверка методов оценки эффективности АТП.

Основным требованием, предъявляемым к АТП, является ее способность вызывать максимальное снижение ГДС при минимальном расходе [3]. Чем выше молекулярная масса (ММ) полимера и чем больше содержание полимера в присадке, тем выше способность АТП снижать ГДС. Таким образом, для оценки эффективности АТП необходимо оценить ММ полимера и его содержание в присадке.

Для проведения исследования нами были синтезированы два образца полимеров: сополимер гексена-1 и децена-1 (образец 1), и гомополимер децена-1 (образец 2). Молекулярную массу полимеров измеряли методом гелепроникающей хроматографии, который основан на измерении времени прохождения через хроматографическую колонку молекул полимера с различной молекулярной массой [4]. Исследование ММ полимеров показало, что по величине ММ, средневзвешенной по массе, образец 2 ( $M_w = 1,4 \cdot 10^7$ ) превосходит образец 1 ( $M_w = 7,2 \cdot 10^6$ ). Однако только по величине  $M_w$  судить однозначно об эффективности присадки не представляется возможным. С одной стороны, при различной ММ степень полимеризации у исследуемых полимеров приблизительно равна (в силу различной ММ мономеров). С другой стороны, помимо значения усредненного значения  $M_w$  необходимо также учитывать долю молекул с низкой ММ ( $M < 10^6$ ), которые не вызывают эффекта снижения ГДС и являются балластом в составе полимера. Таким образом, мы сталкиваемся с противоречием. С одной стороны, ММ полимера является основным критерием эффективности АТП, с другой стороны, непосредственное измерение ММ не позволяет однозначно судить об

эффективности АТП и сравнивать присадки между собой.

Выходом из данной ситуации является разработка метода определения эффективности АТП без определения ММ. Данный метод должен моделировать условия промышленного трубопровода, для чего необходимо выбрать параметр, который будет одинаковым для трубопровода и лабораторной установки. Проведенные в работе [5] исследования показали, что выбор в качестве такого параметра критерия гидродинамического подобия приводит к значительным расхождениям результатов лабораторных и промышленных испытаний, в то время как использование такой характеристики потока, как скорость сдвига, позволяет получать достоверные результаты.

Эффективность полимера определяется его способностью снижать ГДС течению углеводородов. Величину снижения ГДС (DR) можно оценить по формуле:

$$DR = \left(1 - \frac{Q_S^2}{Q_P^2}\right) \cdot 100\%,$$

где  $Q_S$  – объемный расход растворителя;  $Q_P$  – объемный расход полимерного раствора.

Величину DR экспериментально оценивали на лабораторном турбулентном реометре (рис. 1).

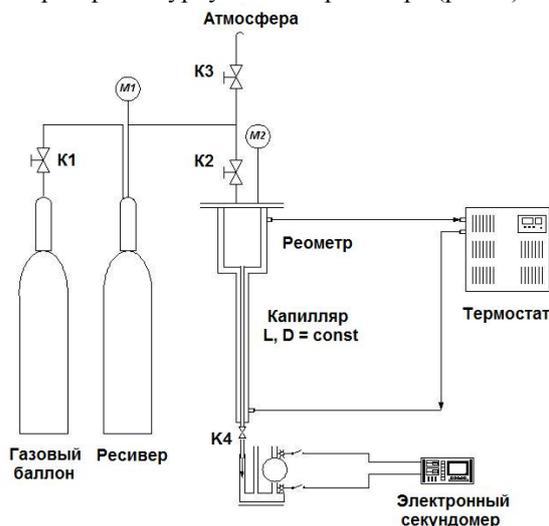


Рис. 1. Турбулентный реометр для измерения величины DR полимерных АТП

Турбулентный реометр конструктивно подобен капиллярному вискозиметру, но позволяет проводить исследования в широком интервале чисел Рейнольдса, охватывающем ламинарную и турбулентную области течения. Основным рабочим

элементом реометра является легко заменяемая толстостенная стеклянная трубка длиной ( $L$ ) и радиусом ( $R_w$ ). Верхний открытый конец трубки сообщается с рабочей камерой реометра, куда заливается исследуемая жидкость. Через другой конец, снабженный краном  $K_d$ , жидкость имеет выход во внешнюю среду и далее попадает в приемник. В приемнике имеется емкость фиксированного объема ( $V = const$ ), через датчик с фотодиодами подключенная к электронному секундомеру.

На турбулентном реометре измеряют время истечения чистого растворителя и растворов полимера с различной концентрацией при одинаковых заданных перепадах давления между концами трубки  $\Delta P_s = \Delta P_p = const$ . Значение снижения ГДС рассчитывают по формуле:

$$DR = \left(1 - \frac{t_p^2}{t_s^2}\right) \cdot 100\%$$

где  $t_s$  – время истечения фиксированного объема растворителя,  $t_p$  – время истечения того же объема раствора полимера при том же давлении.

Относительная величина  $DR$  является мерой снижения энергетических затрат на перекачку полимерного раствора по сравнению с исходным растворителем и может рассматриваться как мера эффективности агента снижения гидродинамического сопротивления. Об эффективности присадок можно судить в целом по зависимости  $DR$  от концентрации, но для численного сравнения присадок между собой удобно определять так называемую величину полуэффекта. Величина полуэффекта – это концентрация присадки, при которой наблюдается половина от максимально возможного значения  $DR$ . Для турбулентного реометра максимально достижимое значение  $DR$  составляет 60%, так что по концентрации, при которой наблюдалось 30% снижение сопротивления, судили об эффективности полимера. Чем ниже концентрация полуэффекта полимера, тем выше эффективность присадки.

С помощью предложенной методики были исследованы образцы полимеров, и для них рассчитаны концентрации полуэффекта (рис. 2). Из рис. 2 видно, что концентрация полуэффекта у образца 1 значительно ниже, чем у образца 2, что говорит о большей эффективности первого полимера в качестве агента снижения ГДС. Таким образом, несмотря на то, что молекулярная масса  $M_w$  образца 1 была ниже, чем у образца 2, непосредственное испытание полимеров на лабораторной установке показало более высокую эффективность первой полимера. Именно применение предложенной нами методики позволило дать сравнительную оценку эффективности исследуемых полимеров.

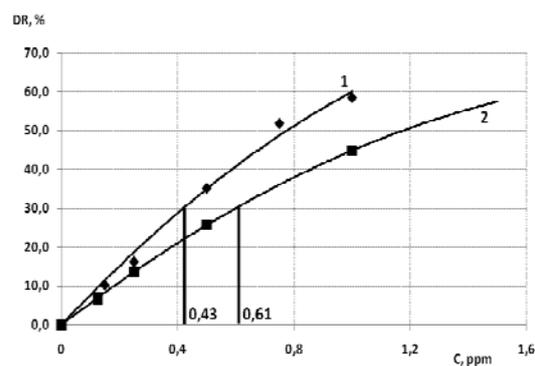


Рис. 2. Зависимость величины  $DR$  от концентрации полимера для образцов 1 и 2.

В результате проделанной работы выявлено, что исследование молекулярно-массовых характеристик полимеров не позволяет дать однозначную оценку их эффективности в качестве агента снижения ГДС. Поэтому нами предложена методика, основанная на лабораторном измерении величины снижения ГДС на турбулентном реометре. Турбулентный реометр моделирует условия промышленного трубопровода, так как имеет близкое значение скорости сдвига. С помощью предложенной методики было измерено снижение ГДС для образцов двух различных полимеров и рассчитаны значения концентрации полуэффекта, сравнивая численные значения которых можно судить об эффективности полимерных АТП.

#### Литература

1. Мастобаев Б.Н., Шаммазов А.М., Мовсумзаде Э.М. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти. – М.: Химия, 2002. – 295 с.
2. Несын Г.В., Полякова Н.М., Манжай В.Н. и др. Промышленные испытания полимерной добавки «Виол» // Нефтяное хозяйство. 1995. – № 5/6. – С.81–82.
3. Г.В. Несын, В.Н. Манжай, А.В. Илюшников. Промышленный синтез и оценка гидродинамической эффективности потенциальных агентов снижения сопротивления в нефтепроводах // Инженерно-физический журнал, 2003. – т. 76, № 3. – С. 1–5.
4. Я. Рабек. Экспериментальные методы в химии полимеров: в 2-х частях. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 480 с. – Ч.2.
5. Г.В. Несын, Ю.В. Сулейманова, Н.М. Полякова, Г.П. Филатов. Антитурбулентная присадка суспензионного типа на основе полимеров высших альфа-олефинов // Известия ТПУ. – 2006. – №3. – С. 112–115.

## РЕЙТИНГОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЕМЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ

Суздальова Д.А., Гельфрих А.С.

Научный руководитель: Чернышева Т.Ю., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета  
652000, г.Юрга, ул.Ленинградская, 26

E-mail: [darya-blond@mail.ru](mailto:darya-blond@mail.ru)

Дистанционное обучение – совокупность технологий, обеспечивающих доставку обучаемым основного объема изучаемого материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление обучаемым возможности самостоятельной работы по освоению изучаемого материала, а также в процессе обучения.

Современное дистанционное обучение строится на использовании следующих основных элементов:

- среды передачи информации (почта, телевидение, радио, информационные коммуникационные сети),

- методов, зависящих от технической среды обмена информацией.

В настоящее время перспективным является интерактивное взаимодействие с учащимся посредством информационных коммуникационных сетей, из которых массово выделяется среда интернет-пользователей.

Использование технологий дистанционного обучения позволяет:

- снизить затраты на проведение обучения (не требуется затрат на аренду помещений, поездок к месту учебы, как учащихся, так и преподавателей и т. п.);

- проводить обучение большого количества человек;

- повысить качество обучения за счет применения современных средств, объемных электронных библиотек и т.д.

- создать единую образовательную среду (особенно актуально для корпоративного обучения).

Дистанционное обучение занимает всё большую роль в модернизации образования. Согласно приказу 137 Министерства образования и науки РФ от 06.05.2005 «Об использовании дистанционных образовательных технологий» [1].

В Юргинском технологическом институте Национального исследовательского Томского политехнического университета (далее ЮТИ ТПУ) дистанционное обучение проходит посредством среды Moodle [2].

Moodle – это инструментальная среда для разработки как отдельных онлайн-курсов, так и образовательных веб-сайтов. В основу проекта положена теория социального конструктивизма и ее использование для обучения [3].

Moodle предлагает широкий спектр возможностей для полноценной поддержки процесса обучения в дистанционной среде – разнообразные спо-

собы представления учебного материала, проверки знаний и контроля успеваемости.

На базе центра дополнительного профессионального образования ЮТИ ТПУ и кафедры Информационных систем была открыта новая специальность (в сфере дистанционного образования) «Организация и управление деятельностью кредитных потребительских кооперативов и микрофинансовых организаций». Главная страница курса представлена на рис. 1.



Рис. 1. Главная страница курса

Цель курса – обеспечить удовлетворение нужд кредитных потребительских кооперативов и микрофинансовых организаций Российской Федерации в квалифицированных специалистах. Значительная часть программы может также служить нуждам профессионалов иных организаций в области микрофинансирования, представителям органов власти, банковским служащим и т.д. Она направлена на изучение основных принципов организации и управления в области финансово-кредитных организаций.

Программа предназначена для директоров и главных специалистов кредитных потребительских кооперативов и микрофинансовых организаций, а также специалистов иных финансовых организаций, служащих государственных и банковских учреждений.

Данный курс разбит на 16 блоков: организационные и правовые основы деятельности МФО и КПК, финансы и кредит, управление финансами и финансовый анализ, страхование, информационные системы и ресурсы, внутренний и внешний контроль деятельности, информационные технологии, бизнес-планирование, управление персоналом, налоги и налогообложение, информационные системы в налогообложении, управ-

ление финансовыми продуктами, бухгалтерский учет и аудит, основы и особенности, информационные системы в бухгалтерском учете и аудите, маркетинг, информационная безопасность.

По окончании курса слушателям необходимо защитить выпускную квалификационную работу. Так же по окончании курса каждый слушатель получает диплом государственного образца.

Вместе с этим, благодаря Moodle, студенты ЮТИ ТПУ могут получить дополнительную информацию по необходимым дисциплинам, выполнять различные контрольные и лабораторные задания, а так же проходить тестирования.

Для ведения точной отчетности по работе с курсом «Организация и управление деятельностью кредитных потребительских кооперативов и микрофинансовых организаций» преподавателям предлагается разработанный модуль программного продукта версии 1С: «Предприятие 8.2».

Данный модуль позволяет выполнять следующие функции:

– накапливать и представлять информацию о деятельности каждого студента за любой промежуток времени и на текущий момент;

– отследить и установить рейтинг каждого студента,

– выявить все возможные участия студентов в разных мероприятиях,

– определить уровень успеваемости, знаний, умений и навыков, студента;

– выявлять лидеров и отстающих среди учащихся.

Особое внимание в работе данного модуля уделяется такому критерию как рейтинг. Рейтинг – это индивидуальный числовой показатель оценки успеваемости, научных, спортивных, творческих или социальных достижений студента в классификационном списке (рейтинг-лист).

В рейтинговой системе учета деятельности студентов установлен перечень показателей: оценка; призовое место; форма контроля; мероприятия (он-лайн семинары); сдача контрольных, лабораторных, практических работ, а так же итоговой аттестации (работы, сданные в срок либо с опозданием); статус студента в группе (староста, профорг и т.д.); форма обучения. Как было упомянуто выше, все критерии, кроме формы обучения, оцениваются в баллах.

В данной системе преподаватель может:

1) вносить предложения по совершенствованию организации применения и содержанию рейтинговой системы;

2) систематически анализировать результаты применения рейтинговой системы, по окончании

учебного года вносить коррективы в содержание и методику преподавания дисциплин.

В модуле был создан ряд объектов информационной системы. В данном случае это константы, справочники («Физическое лицо»; «Дисциплины»; «Группы»; «Мероприятия»); документы («Приказ о зачислении»; «Успеваемость»; «Мероприятия»); перечисления, отчеты, и др.

Документы «Успеваемость», «Мероприятия», «Статус студента» позволяют сформировать отчет «Рейтингование». Отчет «Рейтингование» представлен на рис 2.

Рис. 2. Отчет «Рейтингование»

Помимо вышеперечисленных справочников и документов в системе были созданы регистры сведений и накоплений, которые хранят информацию о зачисленных студентах, балльной системе, творчестве студентов, социальном статусе и баллах, что позволяет преподавателю вести контроль всех видов учебной деятельности и активности студента [4].

В будущем программа будет дорабатываться, в нее будут встраиваться более сложные механизмы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации. Приказ «Об использовании дистанционных образовательных технологий». URL: <http://www.edu.ru/> (дата обращения: 14.02.2012)

2. Дистанционное обучение в среде Moodle. Главная страница. [Режим доступа]: <http://moodle.uti.tpu.ru:8080/> (дата обращения: 14.02.2012)

3. Работа в системе дистанционного обучения Moodle. Учебное пособие. Анисимов А.М. 2-е изд. испр. и дополн.– Харьков, ХНАГХ, 2009г.

4. Радченко М.Г. 1С: Предприятие 8.2 Практическое пособие разработчика. – Москва: Издательство ООО «1С-Публишинг», 2009. – 874 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ВНУТРЕННИХ АУДИТОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Терентьева Н.А.

Научный руководитель: Сафин Э.В., к.т.н., доцент  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
450000, Россия, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12  
E-mail: [nadi-goddess@mail.ru](mailto:nadi-goddess@mail.ru)

Система менеджмента качества Уфимского государственного авиационного технического университета была сертифицирована на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2001 в 2007 году, а в 2010 году была пройдена процедура ресертификации системы на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Система менеджмента качества (СМК) вуза постоянно совершенствуется, университет занял ряд призовых мест в различных конкурсах в области качества.

Внедрив систему менеджмента качества, руководство университета проводит постоянный мониторинг функционирования системы, оценивает ее результативность, анализирует отдельные сбои в работе некоторых процессов системы. При этом результаты внутренних аудитов являются важнейшей входной информацией для проведения анализа работы системы со стороны руководства университета, что позволяет разработать корректирующие действия и выявить возможности улучшения, как отдельных процессов, так и системы в целом [3].

Внутренний аудит качества образовательного учреждения – это систематический документируемый процесс проверки вуза, его подразделений, процессов на основе действующей документации и установления соответствия объекта аудита определенным критериям, целям и задачам аудита, проводимый первой стороной (вузом) для внутренних целей [4].

Система внутренних аудитов ФГБОУ ВПО «УГАТУ» является одним из важных элементов внутривузовской системы обеспечения качества образования и научно-инновационной деятельности. В университете предусмотрено проведение плановых и внеплановых внутренних аудитов. Ежегодно в УГАТУ проверяется в среднем около 60 подразделений. Так, в 2009 году количество проведенных аудитов составляло 65, в 2010 году – 58, в 2011 году – 62.

Ответственным за организацию и функционирование процесса внутренних аудитов в университете является представитель руководства по СМК, обязанности которого возложены на проректора по учебной работе. Ответственным исполнителем и главным аудитором является заведующий бюро контроля качества (БКК).

Систематически проводимые внутренние аудиты предназначены для обеспечения руководства Университета объективной и своевременной информацией о степени соответствия СМК и ее функционировании установленным требованиям. Основная философия внутренних аудитов заклю-

чается не в наказании виновных в несоответствиях и не в написании отчетов в несколько десятков страниц, а в выявлении и оценке слабых сторон работы подразделений и выработке рекомендаций, направленных на повышение результативности и качества их работы, результативности СМК вуза в целом [1].

Основными задачами внутренних аудитов являются:

- оценка соответствия всей СМК или отдельных её процессов требованиям нормативных документов, регламентирующих вопросы управления качеством в образовательном учреждении;
- определение возможностей и путей улучшения СМК Университета, процессов и предоставляемых образовательных услуг;
- выявление несоответствий СМК или отдельных процессов в сравнении с требованиями, установленными документацией СМК;
- оценка соответствия фактической деятельности кафедр или подразделений деятельности, описанной в СМК;
- предоставление руководству вуза достоверной информации для разработки корректирующих и предупреждающих действий с целью улучшения СМК;
- проверка результативности корректирующих действий по результатам предыдущих проверок;
- предоставление потребителям образовательных услуг и научно-технической продукции доказательств результативности функционирования СМК [2].

Внутренние аудиты охватывают все процессы СМК в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и распространяются на все структурные подразделения, кафедры и должностные лица, для которых документацией СМК установлены ответственность, полномочия и процедуры управления качеством.

Программа и график внутренних аудитов на календарный год разрабатывается в бюро контроля качества, согласуется с начальником отдела менеджмента качества образования научно-инновационной деятельности, представителем руководства по СМК и утверждается ректором университета.

В УГАТУ сформировано семь аудиторских групп, одна из которых состоит из работников бюро контроля качества и функционирует на постоянной основе, а остальные состоят из наиболее опытных работников профессорско-преподавательского состава: профессоров, доцентов, старших преподавателей, имеющих научно-

педагогический стаж не менее пяти лет и прошедших дополнительное обучение в области систем менеджмента качества. Как правило, аудиторская группа состоит из двух человек, все члены аудиторской группы наделяются правами, ответственностью и обязанностями аудитора.

Для каждого аудита определяются его цели и критерии в пределах утвержденной годовой программы аудитов. Результативные проверки требуют результативного планирования. Один из самых полезных инструментов планирования и проведения аудита — контрольный лист (чек-лист). Аудит планируется, а персонал проверяемого подразделения заранее уведомляется о цели, области, времени и методах проведения аудита, чтобы дать возможность наиболее полно подготовиться к аудиту и исключить возможность уклонения от предоставления всех требуемых данных [5]. Аудит проводится с определенной периодичностью для того, чтобы все элементы системы менеджмента качества и деятельность всех подразделений Университета были предметом постоянного анализа и оценки со стороны руководства. Аудиторы несут непосредственную ответственность за достоверность результатов проверки. Аудитор должен высказываться конкретно и лаконично, избегать многословия и повторения фраз. Отчеты по аудиту также должны быть краткими по форме, но исчерпывающими по содержанию. Аудитор может, изучив свои записи, обнаружить действительно важные проблемы и присвоить им статус значительных несоответствий. Затем может выбрать менее крупные проблемы и присвоить им статус мало-значительных несоответствий. Также может быть оформлен лист регистрации уведомлений, в котором аудиторы предлагают свои рекомендации для улучшения того или иного процесса, с которыми руководитель проверяемого подразделения может согласиться или нет. Аудиторская группа оформляет листы регистрации несоответствий (уведомлений) (ЛРН, ЛРУ) и составляет акт по результатам внутреннего аудита, в котором указывается информация о достижении целей аудита, перечень отмеченных несоответствий и рекомендаций, выводы о соответствии элементов СМК требованиям нормативной документации, указания по корректирующим действиям. Акт должен быть оформлен в течение трех рабочих дней после проведения заключительного совещания. Согласно стандарту университета СТО УГАТУ 005-2010 «Внутренние аудиты» общее время согласования, оформления и утверждения акта не должно превышать пяти рабочих дней с момента окончания заключительного совещания. Если выявленные несоответствия были устранены в ходе аудита, то это указывается в ак-

те. Если же нет, то на основании утвержденного и полученного акта по результатам внутреннего аудита, руководитель проверенного подразделения разрабатывает на основании указаний и рекомендаций аудиторов, отмеченных в ЛРН и ЛРУ план устранения выявленных несоответствий и корректирующих действий. План должен включать содержание и цели предлагаемых мероприятий, сроки выполнения, фамилии и должности исполнителей, отметки о выполнении. На выполнение плана с момента его подписания руководителем, согласования с руководителем аудиторской группы и в БКК отводится не более 20 рабочих дней. Заведующий БКК выборочно контролирует выполнение плана устранения выявленных несоответствий и корректирующих действий, анализирует их эффективность и подготавливает проекты соответствующих решений.

Исходя из практики внутренних аудитов УГАТУ, можно говорить о том, что большинство выявленных малозначительных несоответствий устраняются в ходе аудитов, а большинство значительных несоответствий включаются в планы корректирующих действий. Проверенные подразделения вовремя устраняют выявленные несоответствия и выполняют планы корректирующих действий.

Отчеты по результатам внутренних аудитов и другая документация системы внутренних аудитов хранится в БКК. По окончании календарного года, после представления заведующим бюро контроля качества годового отчета по результатам внутренних аудитов и утверждения этого отчета у ректора, вся рабочая документация подшивается из отдельных файлов или папок в дела внутренних аудитов.

По результатам реализации годовой программы внутренних аудитов, составляется и представляется на согласование и утверждение годовой отчет по результатам внутренних аудитов. В отчете обобщается информация о проведенных за год аудитах, в том числе указывается, какие корректирующие действия были определены и предприняты по результатам внутренних аудитов, а также как они были выполнены.

#### **Список литературы:**

1. Оценка эффективности системы менеджмента качества вуза // Стандарты и качество. – 2011. – №3. – С. 67.
2. К вопросу о целях внутреннего аудита // Методы менеджмента качества. – 2011. – №10. – С. 44–47.
3. <http://ria-stk.ru/mmq/adetail.php?ID=50003>
4. <http://ria-stk.ru/mmq/adetail.php?ID=51394>
5. <http://quality.eup.ru/SERTIFIC/anprvaud.htm>

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ В ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА КЕРАМИЧЕСКОГО

Терёхина Ю.В., Котляр В.Д., Небежко Ю.И.

Научный руководитель: Котляр В.Д., к.т.н., доцент

Ростовский государственный строительный университет,  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

E-mail: [yuliya-2209@mail.ru](mailto:yuliya-2209@mail.ru)

Функционально-стоимостной анализ (ФСА) – это эффективная система управления стоимостью изделий и технологий, эффективный метод решения самых разных задач, поиска и реализации резервов. Это важный элемент в организационной структуре предприятия, программа работ, тесно связанная с другими целевыми программами, направленными на совершенствование технической политики предприятия, повышение эффективности производства, экономии ресурсов, создание новой продукции. ФСА проводится в целях:

- увеличения прибыли предприятия;
- снижения себестоимости изделий и расходов на эксплуатацию;
- повышения качества и конкурентоспособности изделий для достижения или повышения мирового уровня.

Результатом проведения ФСА изделий должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат [1].

Ниже будет рассмотрено применение ФСА в технологии производства керамического кирпича способом полусухого прессования на одном из предприятий Ростовской области. В настоящее время перед заводом стоит задача производства керамического кирпича повышенного качества по технологии полусухого прессования на основе традиционного сырья – суглинков с удовлетворительными технологическими характеристиками, или же на основе нетрадиционного сырья – опоковидных пород. Подзадачей является получение качественной продукции на имеющемся оборудовании, или минимальные вложения на покупку нового оборудования с максимальной эффективностью использования и влияния на качество готовой продукции. Следовательно, сырьё и параметры технологии должны быть максимально подходящими для существующего комплекса.

Для решения данной задачи рассмотрим номенклатуру показатели качества готовой продукции – кирпича керамического полусухого прессования, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества кирпича керамического

Показатели качества		
1-я категория	2-я категория	3-я категория (единичные)
Функциональные	Назначения	Марка по прочности
		Водопоглощение
		Теплопроводность
	Конструктивности	Правильность формы
		Точность геометрических размеров
		Пустотность
		Масса
	Средняя плотность	
Надежности	Долговечности	Марка по морозостойкости
		Отсутствие известковых включений
Эстетичности	Выразительности	Оригинальность
		Рациональность формы лицевой поверхности
	Целостности	Гармоническая пропорциональность
		Цвет и яркость
		Фактура
		Совершенство производственного исполнения и стабильность товарного вида
	Аттестованность производства	
	Награждение продукции и производителя	
Безопасности		Содержание радионуклидов
Патентно-правовые		Показатели патентной чистоты
		Показатели патентной защиты
		Показатели территориального распространения
		Инновационность (новизна) продукции и технологии
Экономические показатели	Стоимость укладки	Расход вспомогательных материалов
		Оплата труда
	Цена	Оптовая цена
		Розничная цена
		Цена со скидкой

При оценке качества продукции используются основные группы показателей качества:

- показатели назначения, характеризующие полезный эффект от эксплуатации и использования продукции и обуславливающие область ее применения;

– показатели надежности и долговечности, характеризующие свойства надежности и долговечности изделий в конкретных условиях их использования;

– эстетические показатели, характеризующие такие свойства продукции, как выразительность, оригинальность, гармоничность, целостность, соответствие среде и стилю и т.п.;

– патентно-правовые показатели, характеризующие степень патентной защиты изделия в стране и за рубежом, а также его патентную чистоту;

– экономические показатели, отражающие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию (или потребление) продукции, а также экономическую эффективность эксплуатации.

В настоящее время кроме перечисленных выше традиционных групп показателей при оценке технического уровня и качества продукции используются также экологические показатели, показатели безопасности и транспортабельности, показатели однородности продукции [2].

На основании представленных показателей был изучен потребительский спрос – за что готов платить потребитель: за внешний вид изделий, за прочностные характеристики, за энергосберегающие показатели, за оригинальность и новизну продукции на рынке. Был проведен мониторинг цен на продукцию рынка стеновых материалов Ростовской области, с учетом включения в цену для потребителя стоимости доставки из других регионов. Стеновые материалы рассматривались только как керамический кирпич – полусухого прессования или пластического формования, рядовой или лицевой. На основании полученных данных сделаны следующие выводы: кирпич рядовой – главным показателем, влияющим на стоимость, является марка по прочности, затем внешний вид, масса (пустотелый или полнотелый), морозостойкость и водопоглощение, способ производства. Кирпич лицевой – главный показатель – внешний вид и форма изделия (цвет, размеры, фаски, рельефная поверхность), затем марка по прочности и морозостойкости, способ производства, масса, водопоглощение. Данное ранжирование представлено для индивидуальных застройщиков. В области гражданского строительства главным показателем является соответствие характеристик продукции требованиям проектной документации, а затем возможность реализации архитектурной выразительности. Как для частного, так и для гражданского строительства важна возможность доставки продукции до строящегося объекта.

Рассмотрим возможности использования двух видов сырья – суглинков и опок на существующей технологической линии для обеспечения показателей качества, формирующих потребительскую цену на продукцию, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Возможности сырья и технологии

Показатели	Значение	Глина	Опока
Марка по прочности	150	+	+
Марка по морозостойкости	F15	+	+
	F25	+	+
	F35	–	+
Внешний вид:	рядовой кирпич	+	+
	лицевой кирпич	–	+
Средняя плотность (максимальная пустотность)	1,2	–	+
	1,4	–	+
	2,0	+	+
Энергосбережение		–	+
Цвет изделия		красный	желтый
Возможность получения фигурных изделий		да	да
Водопоглощение	6–14% – лицевой, не менее 6 рядовой	15	24

Из таблицы видно, что на существующем комплексе оборудования по технологии полусухого прессования из глины возможно производить рядовой кирпич, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 530-2007. Глина по своим технологическим характеристикам менее требовательна к четкому соблюдению технологии. Средняя цена изделия на рынке 6-7 рублей. На основе опоки возможно производство как рядового, так и лицевого кирпича желтого цвета, по физико-механическим показателям соответствующего требованиям нормативных документов, с улучшенными теплотехническими характеристиками. Однако опока более требовательна к соблюдению технологических параметров, выше вероятность возникновения брака, что требует дополнительных затрат на сортировке. Средняя цена на рынке за изделие - 10-15 рублей.

На основании проведенного анализа показателей назначения и их значимости в формировании стоимости изделий на рынке, сделаны выводы о возможности использования глины для рядового кирпича на имеющейся технологической линии, а опоку использовать как сырье для лицевого кирпича после проведения корректирующих мероприятий по устранению причин возникновения брака и стабилизации качества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Справочник по функционально–стоимостному анализу /Ковалев А.П., Н.К. Моисеева и др. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 431 с.
2. Бурчакова М.А., Мизинцева М.Ф. Управление качеством – М.: РУДН, 2004.– 200 с.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПАРКЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ

Фалилеев А.Д.

Научный руководитель: Нестерук Д.А., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [najman@sibmail.com](mailto:najman@sibmail.com)

Измерение теплофизических характеристик материалов является одной из задач неразрушающего контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса тепло-передачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Различают пассивный и активный тепловой контроль. В основе аналитического решения задач активного теплового контроля лежит уравнение теплопроводности, где  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности, характеризующий скорость распространения температуры в неравновесных тепловых процессах [1].

Температуропроводность численно равна отношению теплопроводности к произведению удельной теплоемкости при постоянном давлении на плотность вещества, в системе СИ измеряется в м<sup>2</sup>/с. Температуропроводность является одним из наиболее важных параметров веществ и материалов, поскольку она описывает процесс переноса теплоты и изменения температуры в них [2].

$$\alpha = (1,388 * l^2) / t_{1/2} * \pi, \text{ где}$$

$\alpha$  - это температуропроводность, измеряется в м<sup>2</sup>/с;

$l$  - это толщина образца, измеряется в метрах;

$t_{1/2}$  - время достижения половины амплитуды нагрева образца, измеряется в секундах.

В последние десятилетия большой интерес вызывает метод лазерного импульса (метод Паркера), сущность которого состоит в поглощении в тонком слое нагреваемой поверхности образца импульса энергии и регистрации изменения во времени температуры его противоположной поверхности. Полученная по итогам экспериментов информация позволяет рассчитать теплофизические характеристики исследуемого материала.

Импульсные методы обеспечивают прямое, быстрое и очень точное определение теплофизических свойств: удельной теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности широкого круга материалов от полимеров, керамики, горных пород до графита, алмазов, металлов и их расплавов.

Образцы могут представлять собой твердые тела, порошки, жидкости, пастообразные вещества,

пленки, волокна и даже многослойные композиты [3].

Основными достоинствами этого метода являются: экспрессность - собственно измерение длится секунды, малые размеры исследуемых образцов, что позволяет измерять теплофизические свойства радиоактивных материалов, при помощи одного прибора можно определять температуропроводность, теплопроводность и теплоемкость, высокая точность.

К недостаткам метода относятся: высокая стоимость аппаратуры, повышенные требования к условиям эксперимента при испытании пористых и неомогенных материалов;

Лабораторная установка, разработанная для практической реализации метода Паркера, состоит из корпуса, в которой находится нагреватель (лампа накаливания), как показано на Рисунке 1, из пирометра - для регистрации температуры с образца во время нагрева, компьютера - для приема значений температуры. На языке программирования матлаб разработана программа, с помощью которой происходит управление пирометром и вычисление температуропроводности. В программе строится график зависимости температуры от времени, рассчитывается по графику значение половины максимума температуры и время, соответствующее этому значению. После чего, высчитывается значение температуропроводности. В качестве контрольного образца используется пластина из резины толщиной 4 мм.

Нагретая тыльная поверхность образца регистрируется прецизионным температурным датчиком с очень малым временем термической реакции – пирометром Optpris LS (LaserSight). Превосходная оптика, высокая точность делают пирометр Optpris LS универсальным термометром для всех видов производственных и исследовательских работ. СОМ-интерфейс и графическое программное обеспечение обеспечивает возможность обработки данных со скоростью 20 значений в секунду. Жидко-кристаллический индикаторный дисплей с функцией автоповорота переключает экран в наиболее удобное для просмотра положение.

Таблица 1

Технические характеристики пирометра Optpris/LS

Диапазон измерения	-35 ... +760°C
Спектральный отклик	8...14 мкм
Разрешение	0.1°C
Время отклика	150 мсек(95%)
Коэффициент излучения	0,100 ... 1,100; регули-

чения	руемый
Температура работы	0°C - 50°C
Температура хранения	-30°C - 65°C
Память	100 значений
Вес	420 г



Рис. 1. Корпус с нагревателем.

На Рисунке 2 показан процесс снятия температурных значений с контрольного образца.



Рис. 2. Снятие температурных значений с образца

На Рисунке 3 изображена полученная зависимость температуры от времени для контрольного образца из резины толщиной 4 мм. Время половины максимума  $t_{1/2}$  получилось равным 14.9060. Значение температуропроводности равным  $1.4899 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Что практически соответствует табличному значению температуропроводности резины, равному  $1.5266 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ .

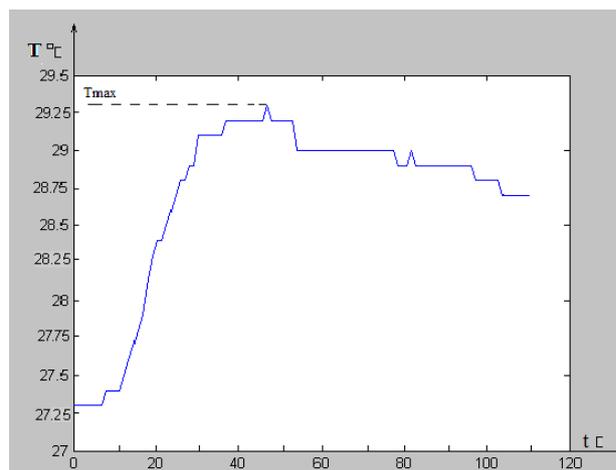


Рис. 3. Полученная зависимость температуры от времени для пластины из резины толщиной 4мм.

Следует отметить, что для определения коэффициента температуропроводности по методу Паркера нет необходимости измерять абсолютные температуры, достаточно измерений с точностью до произвольного множителя, большие удельные потоки, создаваемые импульсными источниками, и малые времена регистрации процесса уменьшают влияние утечек тепла с образца и расширяют диапазон измерений до высоких температур [4].

Данная установка будет использоваться для исследования измерения температуропроводности в лабораторных условиях.

#### Список литературы:

1. Вавилов В.П., Нестерук Д.А. Тепловой контроль и диагностика М: Томск, 2007. - 104 с.
2. Вавилов В.П. Тепловой контроль М: Машиностроение, 2004. – 243с.
3. Ключев В.В. Неразрушающий контроль: справочник М: Машиностроение 2004. – 679 с.
4. Лунев А.В., Покровский С.А. Метод лазерной вспышки для определения температуропроводности М: Мифи, 2003. – 347 с.

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, НА ОСНОВЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

Филатова Е.Ю.

Научный руководитель: Цапко Е. А., к.ф.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [Filkat23@gmail.com](mailto:Filkat23@gmail.com)

### Введение

В последние десятилетия одним из главных факторов экономического роста стало развитие информационных технологий, которые позволяют решить задачи сокращения финансовых и временных затрат при производстве сложной наукоемкой продукции. В современных условиях CALS-технологии являются важнейшим инструментом повышения конкурентоспособности продукции. Качество выпускаемой продукции обеспечивается за счет систематизации и интеграции информации об изделии, основанной на описании всех стадий жизненного цикла изделия. Эта интеграция достигается путем электронного представления информации об изделии, в том числе, путем внедрения безбумажного электронного документооборота.

Одной из основополагающих частей CALS является технология хранения и управления данными о продукте – PDM-технология (Product Data Management), которая предназначена для управления всеми данными об изделии и информационными процессами жизненного цикла изделий.

### Метрологическое обеспечение на стадиях жизненного цикла средств измерений

Жизненный цикл продукции, состоит из следующих стадий, таких как разработка технического задания, разработка документации всех видов (конструкторской, технологической, проектной, эксплуатационной), разработка и изготовление, ввод в опытную и промышленную эксплуатацию, непосредственно эксплуатация средств измерений, техническое обслуживание, ремонт и модернизация средств измерений, демонтаж и утилизация. При этом каждая из стадий жизненного цикла средств измерений неразрывно связана с решением многочисленных задач по обеспечению единства измерений [1].

В ходе анализа существующих документов были выделены и систематизированы стандарты, применяемые в процессе метрологической деятельности.

На стадии разработки технического задания осуществляется метрологическая экспертиза, которую проводят в следующей последовательности:

- проверяют правильность построения документа и наличие всех необходимых разделов и приложений;

- оценивают оптимальность номенклатуры измеряемых параметров, правильность формы их записи, возможность измерения параметров продукции с требуемой точностью с помощью имею-

щихся или разрабатываемых средств и методик измерений, методик испытаний;

- оценивают достаточность требований по метрологическому обеспечению разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции;

- проверяют наличие и полноту указаний по проведению метрологической экспертизы документации;

- проверяют правильность метрологической терминологии, наименований и обозначений физических величин и их единиц [2].

На этапе разработки средств измерений осуществляется метрологическая экспертиза проектной, конструкторской, технологической, эксплуатационной документации, нормирование и расчет метрологических характеристик средств измерений.

При изготовлении средств измерений проводится метрологическое обеспечение производства и аттестация методик измерения.

В приборостроении, для промышленных предприятий, разработчиков и пользователей средств измерений метрологическое обеспечение производства, в основном, включает:

- анализ состояния измерений;

- установление рациональной номенклатуры измеряемых величин и использование средств измерений (рабочих и эталонных) соответствующей точности;

- проведение поверки и калибровки средств измерений;

- разработку методик измерений для обеспечения установленных норм точности;

- проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации;

- внедрение необходимых нормативных документов;

- проведение метрологического надзора.

На этапе ввода в действие средств измерений проводятся:

- предварительные испытания;

- приемо-сдаточные испытания;

- испытания в целях утверждения типа;

- опытная эксплуатация;

- испытания для целей сертификации.

Также при вводе в действие средств измерений осуществляется первичная поверка/калибровка.

На стадии эксплуатации средств измерений проводится периодическая поверка/калибровка и метрологический надзор.

Государственный метрологический надзор осуществляется за:

- соблюдением обязательных требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин и СИ;

- наличием и соблюдением аттестованных методик измерений.

Метрологическое обеспечение на этапе технического обслуживания и ремонта заключается в проведении первичной поверки/калибровки. В случае модернизации необходимо провести аттестацию методик измерений, испытания в целях проверки соответствия утвержденному типу, первичную поверку/калибровку и метрологический надзор.

Модернизация средств измерений может включать, ввод новых компонентов, введение новых функций и т. д.

#### **Программный комплекс PDM Step Suite**

Для создания базы нормативной документации, на основе классификации по видам метрологического обеспечения, использовался программный комплекс PDM Step Suite.

Программный комплекс PDM STEP Suite разработан на основе стандарта STEP. Назначение PDM Step Suite (далее - PSS) – собрать всю информацию об изделии в базу данных и обеспечить совместное использование этой информации в процессах проектирования, производства и эксплуатации.

На стадии проектирования база данных используется для накопления в стандартизированной форме результатов работы разработчиков и обмена данными между ними. Подготовленные, проверенные и утвержденные данные используются в процессах материально-технического снабжения, производства и эксплуатации изделия.

Данные могут попадать в систему различными способами – вводиться вручную или передаваться автоматизированными системами. Аналогично может происходить извлечение и использование данных: от диалогового доступа к данным и визуального просмотра, до автоматического отбора при помощи прикладных программных систем.

Система PSS может хранить данные необходимые для подготовки электронных публикаций (интерактивных электронных технических руководств на изделие) и взаимодействовать с системой автоматизированной подготовки. В этом случае обеспечивается централизованное управление всеми данными проекта.

Система PSS позволяет хранить электронно-технические документы (далее - ЭТД). При этом ЭТД может существовать как сам по себе, так и быть ассоциированным с любым объектом базы данных (версией изделия, изделием, характеристикой, группой характеристик, другими доку-

ментами). Логически ЭТД состоит из двух частей: содержательной и реквизитной. В качестве содержательной части может выступать любой файл, способный храниться в компьютере: 3D-модель, файл мультимедиа, растровое изображение (например, отсканированный чертеж) и т.д. Реквизитная часть содержит идентификационные данные документа, в том числе одну или несколько ЭЦП. Документ имеет множество версий (дерево версий документа). Когда пользователь обращается к документу, он автоматически переадресовывается к его активной версии. Только одна версия документа может быть активной. Встроенный механизм управления изменениями позволяет проследить всю историю изменений каждого документа для последующего анализа и возможности произвести возврат к предыдущим версиям. Вся информация, получаемая при проведении изменений, может фиксироваться для последующего использования. При задании статуса документа по умолчанию статус присваивается его активной версии, но присвоить статус можно любой версии, если указать ее явно [3].

#### **Заключение**

Разработка комплекса нормативной документации, регламентирующей метрологическое обеспечение на всех стадиях жизненного цикла средств измерений, необходима для электронного представления информации и для внедрения безбумажного электронного документооборота.

Для выполнения данных задач, применяется PDM-технология, позволяющая создать единую базу для всех участников жизненного цикла средств измерений. Главной задачей PDM-системы является предоставление соответствующему сотруднику нужной ему информации в нужное время и в удобной форме.

Использование данной базы приводит к сокращению времени, связанного с поиском необходимых данных, и к улучшению взаимодействия с другими участниками жизненного цикла средств измерений.

#### **Литература:**

1. Хайрнасов К.З., Сокольский М. Л., «Применение стандартов норм и правил при создании конструкторской, технологической и программной документации». – Изд-во: Питер, 2004г. – 112с.
2. Данилов А. А., Метрологическое обеспечение измерительных систем. – Пенза: Профессional, 2008. – 63с.
3. Долгих Э. А., Сарафанов А.В., «Основы применения CALS-технологий в электронном приборостроении». – Изд-во: ИПК СФУ, Красноярск, 2008г. – 134с.

## РАСЧЕТ ПЕРВИЧНОГО МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА ПО НОРМИРУЕМЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

С. В. Ченцова,

Руководитель - М. М. Чухланцева, к.т.н., профессор РАЕ  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [ChentsovaS.V@mail.ru](mailto:ChentsovaS.V@mail.ru)

### Введение

Одним из важнейших средств обеспечения качества изготавливаемой продукции является применение надежного оборудования, применяемого на стадии входного, пооперационного и выходного контроля изделий, в системах управления технологическими процессами, системах учета энергоносителей и др.

К основным элементам системы обеспечения единства измерений относится периодическая поверка средств измерений, при которой осуществляется контроль соответствия метрологических характеристик средств измерений установленным требованиям или их приведение в соответствии с этими требованиями. Поэтому межповерочный интервал – важнейший параметр метрологического обслуживания средств измерений, непосредственно влияющий на уровень единства измерений. Чем меньше межповерочный интервал, тем выше этот уровень. С другой стороны, чем меньше межповерочный интервал, тем больше финансовые затраты на проведение поверок средств измерений, а также издержки производства, связанные с изъятием средств измерений с места эксплуатации. Таким образом, налицо противоречие, которое должно быть разрушено путем определения оптимального значения межповерочный интервал.

### Термины, определения и обозначения

Средство измерений (СИ) - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени [1].

Измерительная система (ИС) - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т. п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Межповерочный интервал (МПИ) – интервал времени, указанный в документе по поверке, в течение которого СИ должно удовлетворять установленным требованиям.

Надежность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования

### Экономический критерий установления межповерочных интервалов

Наиболее естественным критерием оптимальности МПИ является экономический критерий – условный минимум экономических издержек эксплуатации, отнесенных к единице времени и зависящих от значения МПИ. Эти издержки складываются из убытков из-за погрешности СИ и расходов, связанных с проведением поверок (калибровок) и ремонтов СИ, забракованных при поверке [2].

На рисунке 1 приведена графическая иллюстрация этого подхода при определении межповерочного интервала

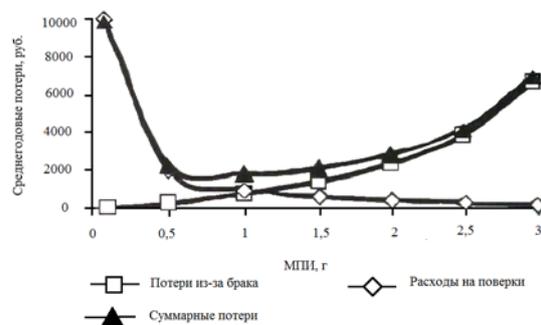


Рисунок 1 – Определение оптимального МПИ по экономическому критерию.

Видно, что среднегодовые суммарные издержки, приходящиеся на одно СИ, складывающиеся из потерь из-за измерительного брака и затрат на проведение поверок, являются минимальными в диапазоне [0,6-1,2] г. Следовательно, целесообразно принять МПИ, равным 1 году.

### Нормируемые показатели метрологической надежности СИ

Другим видом критерия назначения МПИ являются нормируемые показатели метрологической надежности СИ

В соответствии с МИ 3290 по результатам испытаний определяют интервал между поверками СИ. Рекомендуемый интервал должен соответствовать нормируемым показателям надежности испытуемых СИ, исходя из риска их использования с погрешностью, превышающей допустимую, и учитывая данные по результатам периодической поверки отечественных и зарубежных аналогов.

Для примера был взят вибропреобразователь АР36, интервал между поверками которого определяется методом сравнения с аналогичными по назначению и принципу действия СИ и составляет 1 год. Поэтому было принято решение рассчитать межповерочный интервал, руководствуясь РМГ 74 «ГЦИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов».

### Порядок расчета МПИ по нормируемым показателям надежности:

В связи с тем, что в ТУ на данное СИ нормируют среднюю наработку на отказ ( $T_{cp} = 100000$  ч), то согласно п. А.5.2 РМГ 74 рекомендаций по межгосударственной стандартизации РМГ 74 «ГЦИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов», оценку МПИ можно провести согласно нижеперечисленной методике.

1) Оценка средней наработки до первого метрологического отказа  $T_{cp.м.}$  проводится по формуле (1):

$$T_1 = \frac{1}{q} \times (T_{cp} - T_{cp.в} \times (1 - q)), \quad (1)$$

где  $q$  – средняя доля метрологических отказов в общем потоке отказов СИ;

$T_{cp.в}$  – средняя наработка СИ до первого внезапного отказа.

Поскольку  $q$  неизвестно, принимаем  $T_{cp.м} = T_{cp} = 100000$  ч.

2) Определение значений следующих параметров:

- $\sigma_0$  – среднее квадратическое отклонение (СКО) распределения погрешности измерений СИ;
- предел  $\Delta$  допускаемой погрешности СИ, нормируемый в ТУ;
- предел  $\Delta_3$  допускаемой погрешности СИ в реальных условиях его эксплуатации;
- значение вероятности метрологической исправности  $P_{м.и.}$ .

При этом:

$$\sigma_0 = 0,3 \cdot \Delta;$$

$$P_{м.и.} = 0,95;$$

$$\Delta_3 = \Delta;$$

$k_p = 1,96$  – квантиль нормального распределения (для  $P = 0,95$ ).

3) Принимаем допущение о симметричности распределения погрешности СИ относительно нуля («веерный» случайный процесс дрейфа погрешности). При этом оценка МПИ рассчитывается по формуле (2):

$$T_1 = T_{cp} \times \frac{\ln \frac{1}{P_{м.и.}}}{\ln \left( \frac{1 + \frac{k_p \sigma_0}{\Delta}}{1 - \frac{k_p \sigma_0}{\Delta}} \right)} \quad (2)$$

При интенсивности эксплуатации 24 ч в сутки наработка СИ  $T_{cp} = 100000$  ч соответствует календарной продолжительности 11,4 г.

$$T_1 = 4,4 \text{ г.}$$

4) Принимаем допущение о линейном случайном процессе дрейфа погрешности СИ. При этом оценка МПИ рассчитывается по формуле (3):

$$T_2 = T_{cp} \times \left( \Delta_3 - \frac{3 \cdot k_p \sigma_0}{4} \right) \quad (3)$$

$$T_2 = 4,7 \text{ г.}$$

5) В качестве МПИ принимаем:

$$T = \min [T_1, T_2] = 4,4 \text{ г.}$$

### Результаты

Рассчитав МПИ по вышеизложенной методике, можно сказать следующее:

- рекомендуемый интервал между поверками составил 4,4 г.;
- расчетное значение МПИ превышает значение, установленное в ТУ, равное 1 г., что подтверждает соответствие МПИ установленным требованиям.

### Закключение

Данной методикой можно пользоваться не только для расчета МПИ СИ, но и при назначении МПИ технических систем (ТС). Как известно ТС содержит в своем составе измерительные каналы (ИК), различные по назначению, выполняемым функциям и измеряемой физической величине.

Следует отметить, что при расчете МПИ ТС имеют место следующие особенности:

- для безотказной работы ТС необходимо, чтобы каждый ИК ТС работал безотказно;
- используются только средние значения показателей надежности (ПН);
- время средней наработки на отказ  $T_{ок}$ , являющийся основным показателем безотказности ИК,  $T_{окj}$  ИК  $j$ -ой группы, в состав которых входят  $k$  разнотипных элементов, образующих основное соединение, определяется по формуле (4):

$$T_{окk} = \frac{1}{\lambda_{kj}} = \left( \sum_{i=1}^k \lambda_i \right)^{-1}, \quad (4)$$

где  $T_i$  – среднее время наработки на отказ  $i$ -го элемента, ч;

$\lambda_{kj}$  – суммарная интенсивность отказов ИК  $j$ -ой группы, 1/ч, рассчитанная по формуле (5):

$$\lambda_{kj} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \times n_i, \quad (5)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов элемента  $i$ -го типа, 1/ч;

$n_i$  – число элементов  $i$ -го типа.

Интенсивность отказов элементов ИК определяется по формуле (7):

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i} \quad (7)$$

### Литература:

1. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 01.01.2001. – ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 46 с.
2. Фридман А. Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: Профессионал, 2008. – 284 с.
3. РМГ 74—2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – Введ. 01.03.2005. – М.: Стандартинформ, 2005. – 22 с.

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ЛОГИСТИКЕ

Черниченко К. С.

Научный руководитель: Шендалев А. Н., к.э.н., доцент

Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35

E-mail: [kseniya\\_9.69@mail.ru](mailto:kseniya_9.69@mail.ru)

Парадигма управления качеством, соответствующая требованиям ГОСТ Р ИСО 9001:2008, предполагает, что удовлетворенность потребителя не ограничивается только показателями качества продукции, работ или услуг. Во многом удовлетворенность потребителя это сервисные услуги, условия поставки и многое другое не имеющее непосредственного отношения к качеству продукции.

В советское время в качестве классификатора показателей качества, по которому оценивалось то, что ныне называется конкурентоспособностью, использовались стандарты ГОСТ 15467-79<sup>1</sup>, ГОСТ 22851-77<sup>2</sup>, а также комплекс методик по инструментальному и экспертному оцениванию качества.

Однако, следует признать, что такие показатели характеризующие конкурентоспособность как технологичность упаковки<sup>3</sup>, сроки поставки, условия оплаты транспортировки и пр. не нашли полного отражения в данных нормативных документах.

В то же время в работах по логистике и всеобщему менеджменту качества указывается, что объем потерь на предприятиях РФ, связанный с отсутствием управления процессами поставок и внутренней логистики, может достигать до 90%<sup>4</sup>. Важно отметить то, что эти потери оказывают разрушительное влияние на восприятие качества продукции потребителем. Поэтому обеспечение качества продукции по всем интересующим потребителем показателям это, прежде всего, качество системы управления организацией.

Для уточнения понятий следует рассмотреть современные требования в области сопровождения товара. В качестве базы используем наиболее широко распространенные стандарты описывающие системы менеджмента – ГОСТ Р ИСО 9001:2008<sup>5</sup> и ГОСТ Р ИСО 9004:2009<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

<sup>2</sup> ГОСТ 22851-77 Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции

<sup>3</sup> Плоская упаковка качественно снижала транспортные расходы не только продавца, но и покупателя, поэтому ИКЕА быстро отказалась от сборки мебели в салонах, делегируя это право своим клиентам.

<sup>4</sup> Процессы связаны с потерями, обусловленными игнорированием человеческого фактора. Последовательное или взрывное уменьшение таких процессов позволяет приблизить время и уровень издержек к минимуму, определяемому только временем передела.

<sup>5</sup> ГОСТ Р ИСО 9001:2008 Системы менеджмента качества. Требования

<sup>6</sup> ГОСТ Р ИСО 9004:2005 Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности

Интерпретируя требования, описанные в разделе 6, управление качеством предполагает выполнение требований потребителя. Поскольку выше было определено, что потребитель заинтересован в сервисе, целесообразно обратить внимание на требования в области сервиса.

Сервис с точки зрения клиента – это комбинация пяти факторов:

- а) надежность – способность выполнять обещанный сервис правильно и аккуратно в течение какого-то периода времени;
- б) отзывчивость – исполнительность и готовность помочь клиентам;
- в) уверенность – знания вместе с вежливостью и обходительностью сотрудников, их способность внушать доверие;
- г) эмпатия – заботливый индивидуальный подход к клиентам;
- д) структурный сервис – физическое представление сервиса, несущее как функциональное, так и символическое значение (оснащенность и дизайн торгового зала, внешний вид продавца и т.д.).

Все это укладывается в функциональную область логистического управления организацией.

В отношении логистики стандарт не формулирует четких требований в области сервиса, формируется лишь требования по наличию необходимых условий для предоставления сервиса. Аналогично стандарт ГОСТ Р ИСО 9004:2009 определяет концепции улучшения и порядок действий по повышению удовлетворенности потребителя.

Иначе говоря, в рамках анализируемых стандартов сложно сформулировать такую систему логистического управления, которая позволит обеспечить удовлетворенность потребителя логистическим сервисом.

К основным задачам логистического сервиса относятся:

- консультирование потенциальных покупателей перед приобретением ими изделий данного предприятия, позволяющее им сделать сознательный выбор; подготовка покупателя к наиболее эффективной и безопасной эксплуатации приобретаемой техники; передача необходимой технической документации, позволяющей специалистам покупателя должным образом выполнять свои функции;
- предпродажная подготовка изделия во избежание малейшей возможности отказа в работе во время демонстрации потенциальному покупателю;
- доставка изделия на место эксплуатации таким образом, чтобы свести к минимуму вероятность его повреждения в пути;

- приведение изделия в рабочее состояние на месте эксплуатации и демонстрации потребителю его в действии;

- обеспечение полной готовности изделия к эксплуатации в течение всего срока его нахождения у покупателя;

Внедрение стандартов способствует успешной реализации продукции (услуги): повышает качество и конкурентоспособность продукции, способствует удовлетворению потребителя, расширяет рыночные возможности, улучшает имидж фирмы; кроме этого, повышает культуру менеджмента и уровень управляемости; экономит затраты: снижает потери от брака, уменьшает количество ошибок, снижает отходы, экономит эксплуатационные затраты.

Часто в результате внедрения стандартов на предприятии ни руководитель, ни персонал не имеют должного понимания процесса. Никто не знает производство лучше, чем те люди, которые там работают, поэтому с обучения персонала и надо начинать, а лишь затем браться за внедрение.

Поэтому предприятия создают свои СТП, в соответствии со своими бизнес-целями и особенностями процессов жизненного цикла производимой продукции.

В то же время организация ИСО разработала и выпустила стандарт по логистической поддержке процессов предприятия. В РФ данный стандарт переведен и введен в действие в 2009 году. В нем определено, что для обеспечения интегрированной логистической поддержки необходимо:

1. Определение и ввод в БД АЛП параметров надежности и ремонтпригодности изделия.

2. Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО).

3. Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность (АООН). Определение рекомендуемой периодичности правового обслуживания изделия.

4. Разработка задач и процедур технического обслуживания изделия.

5. Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка перечней, каталогов запчастей и расходных материалов.

6. Оценка потребностей в средствах обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях.

7. Подготовка исходных материалов для разработки эксплуатационной документации на изделие.

8. Оценка затрат на техническое обслуживание и коэффициента готовности изделия в заданных условиях эксплуатации. Оценка показателя поддерживаемости изделия.

9. Оценка затрат на техническое обслуживание, коэффициента готовности изделия и показатели поддерживаемости изделия по результатам эксплуатации.

10. Разработка документа «План ИЛП».

Для создания логистической поддержки необходимо учитывать три фактора:

- 1) стандарт не имеет пока широкого распространения, поэтому его внедрение в деятельность организации будет связано с постепенным циклическим совершенствованием процессов логистической поддержки;

- 2) процедура логистической поддержки должна быть построена на базе существующей системы качества и системы документации;

- 3) процедура должна быть основана на существующей в организации системе регистрационной документации.

Если обратиться к п. 8.4, описанные в нем требования предполагают сбор и обработку данных для определения удовлетворенности потребителя в предоставляемой ему продукции и сервисе:

1. Определение требований к надежности и ремонтпригодности изделия. Для логистики это подразумевает не сколько качество продукции, сколько геометрические параметры упаковки, амортизационных элементов, и, соответственно, установление требований к поставщикам.

2. Проведение FMEA анализа по отказам и бракам организации. Причем проводить его нужно в два этапа: статистический анализ с применением простых инструментов и сам FMEA анализ.

3. Доработка документации, описывающей производственные и сбытовые процессы.

4. Доработка регистрационных форм, для отражения параметров логистического сервиса, таких как: время и продолжительность доставки, упаковка, исполнение заказа, подбор ассортимента, консультации, обеспечение бесплатной доставки, предоставление информации о прохождении грузов.

В настоящее время именно сертификат, подтверждающий соответствие продукции международным стандартам качества, служит решающим фактором для заключения контракта на поставку продукции. Успешная реализация качественного продукта является главным источником существования любого предприятия.

Таким образом, можно с уверенностью заявить, что использование методов и принципов логистики позволяет поднять управление качеством на более высокий уровень, в первую очередь за счет лучшего взаимодействия с поставщиками и заказчиками, а также за счет эффективного использования резервов по времени.

## ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР: АСПЕКТЫ КАЧЕСТВА ДЕПОВСКОГО РЕМОНТА

Шашенко А.В., Нармухан И.М.

Научный руководитель: Брылова Т.Б., к.т.н., доцент  
Омский государственный университет путей сообщений,  
644040, Россия, г. Омск, пр. К.Маркса, 35  
e-mail: [biser65@mail.ru](mailto:biser65@mail.ru)

Постоянно усложняющиеся задачи по повышению качества выпускаемой промышленной продукции и её дальнейшего эксплуатационного контроля (в особенности, контроля крупномасштабных промышленных объектов) требуют совершенствования средств и методов неразрушающего контроля (НК) в частях повышения точности измерения и выявления дефектов, понижения стоимости оборудования и процессов контроля за счет уменьшения габаритов аппаратуры и автоматизации измерительных и вычислительных процедур.

В калькуляции себестоимости внутренних железнодорожных перевозок одной из наибольших статей расходов является «ремонт и содержание подвижного состава». В частности, на эту статью приходится: по тепловозному парку - до 25%, по электровазону - до 26%, по вагонному - до 45% от общих затрат на эксплуатацию [1]. Функционирование и развитие системы ремонта происходит за счет наращивания ремонтных мощностей, роста потребляемых ресурсов пропорционально увеличению количества ремонтов. В современных условиях старение парка подвижного состава и ограниченность в ресурсах являются причиной перераспределения ресурсов на внеплановые ремонты в ущерб плановой составляющей. Как результат: из-за увеличения доли внеплановых ремонтов (от 5-7% до 35-40%) снижается качество плановых ремонтов. Предприятия несут серьезные издержки в эксплуатационной работе, в том числе, из-за низкого качества планового ремонта технических средств. По технологическим неисправностям, связанным с качеством депоовского ремонта, около 30 % [2]. Растет число отказов подвижного состава в перевозочном процессе. Предприятия несут убытки, падает конкурентоспособность промышленного железнодорожного транспорта.

Для выхода из сложившейся ситуации требуется сформировать эффективную систему ремонта.

Надежность и бесперебойность работы железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от качества используемых методов и средств дефектоскопии, ориентированных на выявление значительных и критических дефектов, уже развившихся усталостных трещин в колесных парах железнодорожных вагонов, в частности осей. Поэтому очень важно обеспечить достоверную дефектоскопию осей как на этапе их производства, так и эксплуатации. К сожалению, на большинстве предприятий преобладает ручной контроль выпускаемых осей, так как только немногие предприятия смогли приобрести дорогое

импортное оборудование для автоматизированного неразрушающего контроля (НК) в потоке. Применение ручного НК не позволяет проводить контроль всей поверхности осей из-за низкой производительности. Кроме того, современные ручные дефектоскопы позволяют зарегистрировать сигналы дефектных зон контролируемой продукции, но при этом не способны обеспечить полную регистрацию всех результатов контроля с получением итогового протокола контроля каждой оси независимо от влияния «человеческого фактора». Поэтому, только полная автоматизация НК осей позволяет повысить его эффективность и является важным фактором повышения качества и конкурентоспособности продукции предприятий.

При разработке новых методов и технических средств проведения НК перед разработчиком ставится задача не только получения достоверной информации о месте расположения и типе дефекта, но и сокращения времени контроля, улучшения и облегчения работы оператора. Использование самых совершенных методов неразрушающего контроля еще не является гарантией качества (бездефектности) проверенных изделий, если контроль осуществляет неквалифицированный специалист, используются ненадлежащие методические документы и средства контроля и отсутствует независимый контроль за структурными подразделениями организаций, осуществляющими работы по неразрушающему контролю. Для обеспечения достоверного НК должны быть реализованы возможности применяемых технических средств и методических документов, введены современные требования к аттестации персонала и управлению деятельностью структурных подразделений, осуществляющих неразрушающий контроль.

В настоящее время к наиболее распространенному методу НК средней части оси для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов относится магнитопорошковый метод контроля (МПК). Распространению магнитопорошкового контроля на железнодорожном транспорте способствовало удовлетворительное сочетание требований, предъявляемых к качеству контроля, и физических характеристик самого метода. В настоящее время на железной дороге для проведения магнитопорошкового контроля деталей и узлов грузовых и пассажирских вагонов действует руководящий документ РД 32.159-2000.

Анализ технологического процесса в омском депо показал, что основная доля рабочего времени дефектоскопистом уходит на межоперационные манипуляции: сканирование намагничивающего уст-

ройства, осмотр и др. Все эти несовершенства существующей оснастки адаптировано к ручному труду оператора.

Автоматизация межоперационных манипуляций позволяет уйти от субъективных факторов, выполнения утомительных повторяющихся движений, оставляя за человеком лишь распознавание дефектов. Особенно актуальной автоматизация становится при применении магнитопорошкового метода в поточной линии с высоким темпом работы. Так, основным условием в проектировании установок для контроля средней части оси, шейки колесной пары и оси в свободном состоянии что имеет место в ВКМ на станции Иртышская Западно-сибирской железной дороги при плане выпуска 50000 колесных пар в год, т.е. 7-8 колёсных пар в час. Человек способен произвести контроль средней части оси или шейки колесной пары за этот промежуток времени, но безошибочная работа при подаче очередной единицы через каждые семь минут приведут к быстрой утомляемости.

При избавлении дефектоскописта средствами автоматизации от необходимости подготавливать технологическую оснастку, время на контроль вполне укладывается в вышеперечисленные 7 минут. Это позволит использовать магнитопорошковое средство диагностики в конвейере с высокой производительностью, а значит, возможно, применение хорошо зарекомендовавшего себя магнитопорошкового метода даже при современных требованиях к производительности предприятий. Разработанное авторами автоматизированная установка магнитопорошкового контроля колёсной пары вагона в сборе осуществляет все механические функции в процессе контроля в соответствии с РД 32.159-2000 с изменениями 2004 и 2007 гг.

Взятое за основу намагничивающее устройство МД-12ПС закрепляется на манипуляторах, позволяющих перемещать разъемный соленоид для средней части оси в горизонтальной и вертикальной плоскостях, В качестве механизмов для перемещения соленоида используются пневматические приводы: для горизонтального перемещения - привод с бесштоковым цилиндром, для вертикального - со штоком и встроенным тормозом. Приводом для катковой станции, вращающей колесную пару, является гидравлический двигатель.

Место положения соленоида определяется взаимодействием постоянного магнита, установленного в поршне каждого привода, и герконовых датчиков, расположенных в пазах вдоль цилиндра. Зазор между соленоидом и поверхностью детали контролируется установленным на соленоиде оп-

тическим датчиком. Нанесение магнитного индикатора на контролируемую поверхность при контроле средней части производится закрепленными на торцах соленоида распылителями.

Помимо контроля средней части оси можно автоматизировать и магнитопорошковый контроль оси колёсной пары вагона в свободном состоянии. Функционально систему автоматизированного МПК оси колесной пары можно разделить на пять основных систем

- 1) система управления установкой;
- 2) катковая станция;
- 3) система сканирования;
- 4) система подачи суспензии;
- 5) видеосистема.

Отличительными особенностями такой установки являются:

- 1) частичная автоматизация технологических процессов;
- 2) вынесение пульта оператора за пределы технологической линии;
- 3) создание комфортных условий труда;
- 4) применение стандартного намагничивающего устройства.

Контроль производится мокрым способом. Сбор и подачу суспензии в зону контроля осуществляет система подачи суспензии. Намагничивание происходит при помощи седлообразного соленоида МД12-ПС, который имеет возможность перемещения вдоль объекта контроля (ОК). Также имеется возможность вращения ОК вокруг своей оси. Оператор, находящийся за пультом управления, распознаёт дефекты посредством видеокамеры.

Данная установка повышает производительность среднего депо с объемом ремонта 10 вагонов в смену (40 осей). На конечной стадии контроля оператор визуализирует магнитные индикации, проводя их анализ и вынося решение о техническом состоянии оси.

#### **Список литературы:**

1. Булохова Т.А. Управление затратами на обеспечение качества ремонта подвижного состава. Управление затратами на обеспечение качества ремонта подвижного состава (На примере Улан-Удэнского локомотивовагоноремонтного завода) : Дис. канд. экон. наук . Иркутск, 2006. -198 с.
2. Корнилов С.Н. Формирование и развитие системы ремонта железнодорожного подвижного состава промышленных предприятий на основе логических принципов Дис. док. техн. наук. Санкт-Петербург, 2004 - 267с.

## НЕФТЯНОЙ ШЛАМ И ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Эйвазова А. Г.

Научный руководитель: Несмеянова Р. М.  
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, 140000,  
Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64  
E-mail: [aydan.az@mail.ru](mailto:aydan.az@mail.ru)

Казахстан обладает мощным нефтегазовым потенциалом, включающим в себя большие объемы разведанных запасов и еще более значительные прогнозные ресурсы углеводородов.

Целью данной работы является изучение возможностей применения нефтяного шлама в качестве вторичного сырья и, таким образом, еще на одну ступень приближения к безотходному производству.

Твердые примеси, присутствующие в перерабатываемых и вспомогательных материалах на заводах химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности и нефтеперекачивающих станциях приводят к образованию такого распространенного вида отходов, как шламы.

Шламы представляют собой пастообразные массы с влажностью 65 – 85 %. Большинство шламов относятся к 3 – 4 группе осадков и состоят из частиц размерами  $10^{-5}$  –  $10^{-7}$  см. Шламы каждого производства имеют свои особенности в зависимости от химического состава образующихся сточных вод и методов их очистки, используемых на данном предприятии [1].

Нефтьшламы состоят из трех ярко выраженных фракций: водной, нефтяной и твердой. Кроме того, они существенно различаются по своему составу и свойствам в зависимости от качества и состава исходной сырой нефти. Поуровневые слои пруда – отстойника изображены на рисунке 1.

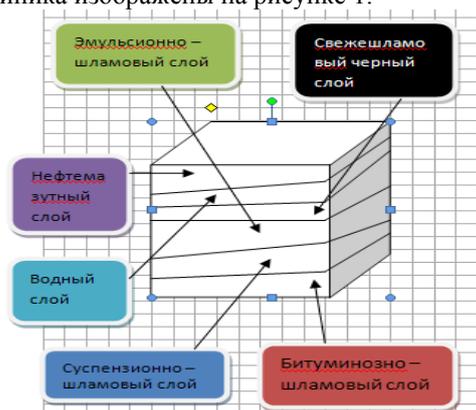


Рис. 1. Поуровневые слои пруда – отстойника

Нефтемазутный слой (3-30 см) – состоит практически из мазута.

Водный слой (50-150 см) – состоит из воды, в его объеме происходит оседание суспензионно – углеводородных агрегатов и всплытие эмульсионных и капельных углеводородов.

Свежешламный черный слой (20-50 см) – преимущественно состоит из «мазутных» углеводородов, которые оседают вместе с твердыми механи-

ческими примесями. Имеет ярко выраженный черный цвет из-за высокого содержания еще не всплывших «мазутных» углеводородов, довольно подвижен и подвержен механическому разрушению.

Эмульсионно-шламовый слой (30-100 см) – углеводороды находятся в сложном суспензионно – эмульсионном агрегатном состоянии, здесь размеры механических примесей исчисляются преимущественно микрометрами. Имеет темно – серый цвет, высокую вязкость, характерную для концентрированных эмульсий, подвержен разрушению при интенсивном механическом воздействии и разбавлении водой.

Суспензионно – шламовый слой (80-150 см) – содержит механические примеси размером более 10 мкм; углеводороды находятся в основном в адсорбированном состоянии. Светло – серого цвета с ярко выраженными пластично – вязкостными свойствами, характерными для паст и мастик, от механического воздействия практически не разрушается.

Битуминозно – шламовый слой (30 – 60 см) – состоит практически из спрессованной смеси тяжелых углеводородов и мехпримесей. Серо – черного цвета, не текуч, трудно подвижен, для перемещения требует применения высоких температур и больших механических усилий, водой практически не разбавляется [2].

Выбор метода переработки и обезвреживания нефтяных шламов, в основном, зависит от количества содержащихся в шламе нефтепродуктов. В качестве основных методов обезвреживания и утилизации нефтеотходов используются:

- химические методы обезвреживания (затверждение путем диспергирования с гидрофобными реагентами на основе негашеной извести или других материалов);
- методы биологической переработки (биоразложение путем внесения нефтесодержащих отходов в пахотный слой земли; биоразложение с применением специальных штаммов бактерий, биогенных добавок и подачи воздуха);
- термические методы переработки (сжигание в открытых амбарах; сжигание в печах различного типа и конструкций; обезвоживание или сушка нефтяных шламов с возвратом нефтепродуктов в производство, а сточных вод в оборотную циркуляцию и последующим захоронением твердых остатков; пиролиз; газификация);

– физические методы переработки (гравитационное отстаивание; разделение в центробежном поле; фильтрование; экстракция);

– физико-химические методы переработки (разделение нефтяного шлама с применением специально подобранных ПАВ, деэмульгаторов, смачивателей, растворителей и др. на составляющие фазы с последующим использованием); использование нефтешлама как сырья (компоненты других отраслей народного хозяйства).

На территории каждого НПЗ эксплуатирующихся в течение десятилетий существуют нефтешламовые пруды – отстойники, в связи с этим количество нефтешламов растёт. Эти нефтешламы могут быть с успехом использованы в качестве вторичного сырья в химической промышленности.

**Активатор поверхности минеральных материалов.** Технология использования нефтяного шлама для активации поверхности зерен минерального материала (песка и щебня) заключается в том, что нефтяной шлам в количестве 3 % вводится в каменный материал, затем температура смеси доводится до рабочей и подаются минеральный порошок и битум.

**Горячий асфальтобетон с использованием нефтяного шлама (НШ).** Технология применения НШ при производстве асфальтобетона заключается в подаче определенного количества нефтяного шлама на нагретый до 220 °С песок и щебень. Далее подают минеральный порошок, после равномерного распределения в смеси вводят вязкий битум с температурой 140 – 160 °С и окончательно перемешивают.

Оптимальное содержание нефтяного шлама для щебня и песка соответствует 13 %, что дает хорошее обволакивание минерала и позволяет экономить до 2 % вязкого дорожного битума, так как в нефтяном шламе присутствует достаточное количество тонкодисперсных частиц фракции меньше 0,31 мм [3].

**Воздействие нефтяного шлама на свойство сцепления каменных изделий.** При определении сцепления органического вяжущего с гранитными высевками на сухом и влажном каменном материале выявлено, что при предварительной обработке сухого горячего каменного материала нефтяным шламом, а затем битумом БНД 60/90 сцепление хорошее, тогда как при обработке битумом удовлетворительное. Это позволяет увеличить сроки службы поверхностных обработок [3].

**Введение нефтешлама в состав цементного клинкера.** При сжигании нефтяного шлама, в зависимости от содержания в исходном нефтяном шламе нефтепродуктов, образуется зола массой до 50 % от начальной массы нефтяного шлама. При сопоставлении составов нефтешлама, золы от НШ и цементного клинкера, можно заключить, что нефтешлам в определенных пропорциях можно

вводить в состав сырья для изготовления клинкера, без нарушения химического состава и эксплуатационных качеств последнего. Такой способ позволяет экономить топливо и сырье при производстве цемента, а также организовать безотходное производство [4].

**Получение бензиновых и керосиновых фракций из состава нефтешламов.** Для утилизации нефтяной и водонефтеэмульсионной составляющих нефтешламов необходимо параллельно со сжиганием остатков нефтешламов осуществлять ректификацию собранной с поверхности нефтешламов нефти путем использования тепловой энергии от сжигания остатков нефтешламов для получения бензина, керосина и т.д.

**Получение керосино – дизельных топлив.** В углеводородах выделенных из суспензионного нефтешлама определено 263 углеводорода от C<sub>6</sub> до C<sub>30</sub>. Основную массу составляют парафиновые углеводороды изостроения – 41,2 %, ароматических углеводородов – 33,7 %, парафинов – 15,2 %. В целом по своим свойствам выделенная из нефтешламов органическая часть отвечает требованиям, предъявляемым к сырью для производства керосино – дизельных фракций, которую целесообразно использовать в получении дизельного топлива [2].

#### Литература:

1. Лукутцова Н. П. Тяжелые металлы в шламах промышленных предприятий и возможные пути их использования в производстве строительных материалов / Н. П. Лукутцова // Строительные материалы, оборудования. Технологии XXI века. – 2001. – № 11. – С. 10 – 11.
2. Пеганов В. Н. Мини – завод по переработке нефтешламов / В. Н. Пеганов [и др.] // Нефтегазовые технологии. – 2002. – № 1. – С. 26 – 34.
3. Турсумуратов М. Т., Бекбулатов Ш. Х. Использование шламов в дорожном строительстве / М. Т. Турсумуратов, Ш. Х. Бекбулатов // ҚРҰИА хабаршысы = Вестник НИА РК – 2010. – № 1. – С. 108 – 115.
4. Гамазин В. П. Комплексно – целевая утилизация отходов / В. П. Гамазин [и др.] // экология и промышленность России. – 2003. – № 2, С. 33 – 37.
5. Рысбаева Г. А., Саданов А. К., Исаева А. У. Снижение содержания нефтепродуктов в почве спонтанной и внесенной микрофлорой в соокислительных условиях / Г. А. Рысбаева, А. К. Саданов, А. У. Исаева // ҚРҰҒА Хабарлары Биология және медицина сериясы = Известия НАН РК серия биологическая и медицинская. – 2006. – № 6. – С. 54 – 58.

---

---

## **СЕКЦИЯ 10**

---

---

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ РЕЦИКЛА НЕВОДЯНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛ В ТУРБИННОМ ЦИКЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Артемов В.Н.

Научный руководитель: Мазурин И.М., д.т.н.

ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19.

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

Целью работы является изучение возможности восстановления первичных свойств (рециклирования) фторуглеродов в турбинном цикле.

Задача работы заключается в исследовании процесса ректификации фторуглеродов по параметрам флегмового числа и количеству теоретических тарелок для разделения модельной смеси и поддержания постоянства состава рабочего тела в цикле.

Энергосбережение - основная проблема сегодняшнего дня. Наиболее эффективными приёмами по сбережению энергии при её производстве являются, прежде всего:

- увеличение КПД существующих электрических станции, что позволит уменьшить расход энергетического сырья, из которого вырабатываются тепловая и электрическая энергия.

- использование возобновляемых источников энергии – Геотермальных ТЭС, ресурс которых сегодня в России используется менее чем 0,1%.

В России на этот счёт уже имелись серьёзные технические решения. Ещё в 60-е годы предлагалось использовать фторуглероды ( $C_nF_{2n+2}$ ) и элегаз ( $SF_6$ ) в качестве заменителей воды в паротурбинном цикле. При этом расчётная величина КПД становится на 5-8% выше, давление пара на 100-150 атмосфер ниже и температура на 150-200°C ниже, в сравнении с водяным циклом. Оборудование ТЭС с такими параметрами существенно дешевле и проще в изготовлении и обслуживании. Расход топлива существенно меньше. Причина эффективности фторуглеродов известна. Их молекулярная масса на порядок выше в сравнении с водой, а критическое давление на 100-150 атмосфер ниже. Термическая стабильность этих соединений на уровне 600°C. Однако в то время фторуглероды и элегаз были ещё мало изучены и относительно дороги. Сырьевой фтор был необходим для атомной промышленности, что и затормозило быструю реализацию этой идеи. В России этими вопросами занимался в 50-60 годы проф. Д.П.Гохштейн с авторами [1], в Японии в 70-80 годы проф. Н. Исикава.

Использование фторуглеродов включает в себе ряд проблем. Главной является неизбежная деструкция рабочего тела в паротурбинном цикле. При этом происходит образование различных примесей. Это постепенно приводит к их накоплению и изменению свойств рабочего тела.

По оценочным расчётам, в паротурбинном цикле мощностью 100-500 МВт очень большой расход вещества около 10 тонн в секунду, так как цикл является не герметичным, то годовое натекание составляет 15-30 % от массы вещества в год. Бак конденсатора имеет объём 30 тонн. Значит, максимальное годовое натекание примесей будет составлять 10т. Исходя из расхода вещества, равного 10т/сек и годового натекания примесей, принимаемого равным 5т/год=0,00951кг/сек, необходимо будет очищать

1л/сек примесей, это примерно 1,2 – 1,5 г воздуха, основу которого составляет азот ( $N_2$ ) и фториды порядка 0,01 – 0,1%. Нарботка фторидов будет составлять 36т/час.

Что бы очистить искомое вещество от примесей, в цикле выделяется отдельная регенеративная петля для удаления примесей, образовавшихся при эксплуатации. Производительность должна быть согласована с темпом наработки примесей. Для этого можно использовать различные виды очистки:

- Дистилляция.
- Мембранная технология.
- Адсорбция.
- Низкотемпературная ректификация.

Целесообразно использовать низкотемпературную ректификацию. Выбор ректификации, как способа очистки искомого вещества от примесей, обусловлен следующими факторами:

- Высокая степень очистки.
- Возможность использовать для большого массового расхода.
- Можно обеспечить высокую автоматизацию процесса при высокой степени очистки.
- Непрерывность процесса.
- Высокая надёжность процесса ректификации.

Адсорбцию в этом цикле можно использовать в качестве дополнительного процесса очистки газов в основном от влаги и масел, где её преимущества наиболее значимы.

В паротурбинном цикле после конденсатора установлен сборник конденсата, из которого будет забираться часть вещества для очистки в ректификационную колонну. Очищенное вещество направляется обратно в цикл. Пример схемы очистки фторуглерода от примесей с использованием ректификации, во втором контуре АЭС показан на рисунке

Заменить воду фторуглеродами на действующих станциях вряд ли возможно. Эти решения необходимо использовать для новых разработок. Главные критерий оценки при использовании фторуглеродов – это безопасность персонала и энергоэффективность.

Оценочные расчёты сделанные по методу МакКэба и Тиле и диаграмме Брега-Льюйса подтвердили возможность очистки фторуглерода (с 99 до 99.8 %) от ближайшей исследованной примеси (например  $C_3F_6$ , вероятность образования которой велика, и для которой есть кривая насыщения), для заданного разделения необходимо в общей сложности 38 теоретических ступеней разделения, из которых 29 приходятся на исчерпывающую часть колонны, а 9 – на укрепляющую часть. При увеличении флегмового

числа до 50 количество тарелок будет уменьшаться, как показано в таблице 1.

Расчёты были сделаны по худшему варианту расхода, но даже они показывают, что диаметр колонны будет равняться 3 м.

Особенностью колонны будет состоять в том, что в качестве насадки будет использоваться пористый никель.

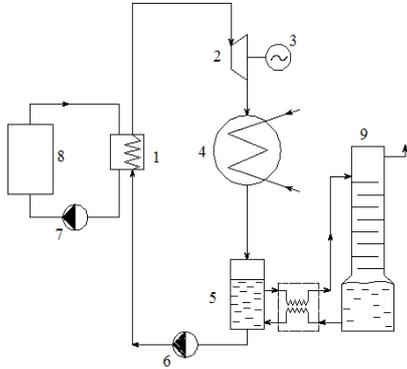


Рисунок 1. Схема очистки фторуглерода от примесей, во втором контуре АЭС.

- 1 - Парогенератор
- 2 - Турбина
- 3 - Электродвигатель
- 4 - Конденсатор
- 5 - Питательный бак
- 6 - Насос
- 7 - Насос
- 8 - Реактор
- 9 - Ректификационная колонна

Таблица 1. Число теоретических ступеней разделения, требуемое для разделения смеси  $C_3F_8-C_3F_6$ , минимальное флегмовое число равно 2,3.

Рабочее флегмовое число	Число теоретических тарелок разделения	
	Исчерпывающая часть	Укрепляющая часть
2,5	35	22
5	29	9
10	28	7
20	27	6,5
50	26	6
$\infty$	26	6

В данном случае разделения нет смысла увеличивать флегмовое число выше 5; увеличение числа ступеней свободы становится таким незначительным, что дальнейшее повышение флегмового числа себя не оправдывает.

Для более детального изучения эффективности очистки фторуглеродов от примесей в ректификационной колонне, был сделан макет установки (Рисунок 2) и проведены предварительные пуски на фреоне-11, которые подтвердили её работоспособность.

Макет автономен и имеет небольшие размеры. Основное вещество в цикле -  $C_3F_8$ . Рабочее давление 1.3-1.5 атм.

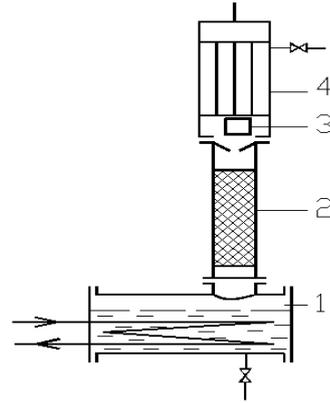


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки.

- 1 - Конденсатор (дефлегматор)
- 2 - Насадка
- 3 - Счётчик флегмы
- 4 - Куб

Основные принятые параметры экспериментальной установки:

- Производительность – 0.3 – 0.5 кг/ч.
- Флегмовое число – от 4 до 30.
- Нагрузка конденсатора от 200 до 1500кДж.
- Диаметр насадочной части колонны  $d_H = 50$ мм.
- Объём куба  $V_K = 10$ л.
- Объём конденсатора  $V_D = 10$ л.

В качестве насадки используется пористый никель. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью к агрессивным средам, в том числе и к фтористым соединениям. Его структура обладает одинаковыми по размеру и структуре отверстиями с диаметром порядка 3мм.

В экспериментальной установке разработан счётчик флегмы. Он представляет собой конус закреплённый таким образом, что при его наполнении, из-за изменения центра масс, происходит опрокидывание и выливается определённое количество воды. При этом происходит удар о стенку куба. По этому звуку мы можем контролировать наличие флегмы и соответственно протекание процесса.

#### Литература:

1. Гохштейн Д.П., Смирнов Г.Ф., Киров В.С. Некоторые особенности парогазовых схем неводными парами // Теплоэнергетика №5, 1966.
2. Гохштейн Д.П., Проблема повышения КПД паротурбинных станций. Госэнергоиздат, 1960.
3. Гохштейн Д.П., Верхивкер Г.П., Проблема использования неводных паров в энергетике // Теплоэнергетика № 1, 1969.
4. Крель Э. Руководство по лабораторной перегонке, пер. с нем., Москва. «Химия». 1980.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ

Аршанов А.А.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [Arshan\\_off@mail.ru](mailto:Arshan_off@mail.ru)

### Введение

Значительная часть электростанций и котельных России будет еще, как минимум, несколько десятилетий работать на жидком органическом топливе. При этом, разумеется, следует помнить что большое число электростанций и крупных котельных используют мазут в качестве основного топлива, на всех электростанциях и котельных, работающих на газовом топливе, имеются резервные мазутные хозяйства, а электростанции и котельные, работающие на угле, часто используют мазут для растопки и подсвечивания факела.

Разогрев при хранении резервного топлива ТЭС и котельных является энергоемким процессом. Повышение тарифов на топливо требует оценки тепловых потерь в отношении мазута и других видов жидкого топлива, требующих подогрева при их хранении и проведения энергосберегающих мероприятий[1].

При проектировании мазутохранилищ необходимо руководствоваться эксплуатационными и конструктивными качествами резервуаров, а также технико-экономическими показателями при их строительстве.

В настоящее время, когда цены на жидкое органическое топливо и газ достаточно высоки, вопросы повышения эффективности мазутных хозяйств, становятся снова актуальными. Действующие по сегодняшний день отраслевые методики расчета [2] и проектирования резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных в условиях взаимодействия с окружающей средой далеко не в полной мере отражают все особенности тепловых процессов.

Применение мазута на ТЭС и котельных в качестве основного и резервного топлива требует поиска эффективных способов энергосбережения в мазутных хозяйствах, а также проведения дополнительных мероприятий по охране окружающей среды от последствий использования мазута.

### Постановка задачи

Высокий уровень нормативных температур мазутного хозяйства ТЭС и котельных приводит к существенным потерям мазута (до 0,3...9,6% объема резервуара в год) и к сильной загазованности атмосферного воздуха из-за испарения мазута со свободной поверхности топлива в резервуаре («дыхание» резервуара). На основе анализа проблем, связанных с использованием нормативной технологии эксплуатации мазутного хозяйства ТЭС (и котельных) и соответствующих этой технологии потерь тепла, необходимо сделать следующие замечания [3]:

нормативные документы, регламентирующие режимы эксплуатации мазутного хозяйства ТЭС в настоящее время, разработаны десятки лет тому назад; как выполнение этих документов, так и создание основного парка действующего энергооборудования относятся к эпохе относительно дешевого топлива;

низкая экономичность оборудования и энергозаточительность существующей технологии хранения и подготовки мазута к сжиганию в котлах в определенной мере объясняются именно этим обстоятельством;

иррациональность существующего способа хранения мазута в ОР не вызывает сомнений специалистов-энергетиков с позиции современных оценок – огромные потери тепла в рассматриваемом случае не могут быть оправданы при нынешних общепринятых взглядах на экономии энергоресурсов и защиту окружающей среды.

Целью работы является численное исследование тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных, а также анализ их тепловых потерь с учетом теплообмена с грунтом.

### Метод решения и исходные данные

Моделирование тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных было проведено при помощи программного комплекса COMSOL Multiphysics с использованием средств и функций модуля General Heat Transfer. Модуль General Heat Transfer предназначен для моделирования задач теплопередачи в произвольной комбинации механизмов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).

На рис. 1 показан надземный вертикальный цилиндрический стальной резервуар [2] марки РВС-100, для которого выполнены расчеты. В качестве теплоизоляционного материала принята минеральная вата. Рассматривается хранение мазута марки М100.

Геометрические характеристики резервуара представлены в таблице 1.

Основные показатели, характеризующие физико-технические свойства материалов [1], следующие: теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость. Свойства для данных материалов приведены в таблице 2.

Средняя температура мазута при хранении принята равной 70°C. Температура наружного воздуха принята -40°C.

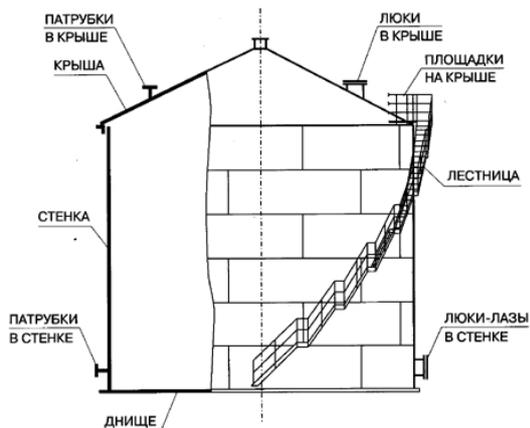


Рис. 1. Конструкция резервуара РВС-100

Таблица 1. Геометрические параметры резервуара РВС-100

Наименование параметра	Величина параметра
Номинальный объем, м <sup>3</sup>	100
Внутренний диаметр стенки, мм	4790
Высота стенки, мм	6000
Стенка РВС-100:	
Количество поясов, шт	4
Днище РВС-100:	
Толщина центральной части, мм	5
Марка стали	ВСт3пс2

Таблица 2. Основные свойства материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)
Минеральная вата	150	0,046	840
Сталь	7800	46,5	462
Грунт	1835	1,42	1155

#### Результаты численного исследования

На рис. 2 приведены результаты численного исследования тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных с учетом теплоотвода в грунт.

Изотермические линии, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о существенном влиянии теплоотвода в грунт на тепловые режимы рассматриваемого объекта.

В таблице 3 представлены результаты расчета тепловых потерь резервуара для хранения резервных топлив ТЭС и котельных с учетом теплоотвода в грунт.

Результаты расчета тепловых потерь  $q$  резервуара для хранения резервных топлив ТЭС и котельных с учетом теплоотвода в грунт, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что учет наличия теплоотвода в грунт приводит к увеличению тепловых потерь на 28%.

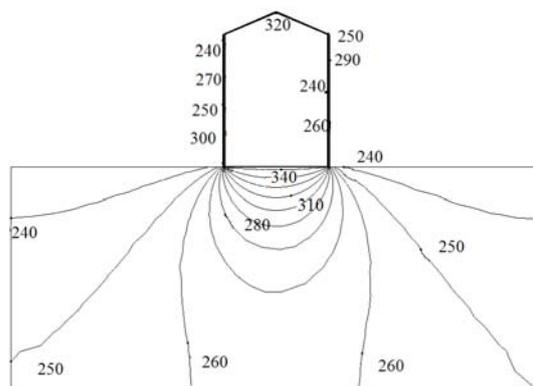


Рис.2. Температурное поле исследуемой системы.

Таблица 3. Значения площади грунта и суммарных потерь

$F, \text{ м}^2$	0	40	108	176	250
$Q, \text{ Вт}$	1149,4	1551,1	1589,8	1596,9	1597

Также в таблице 3 приведены значения площадей грунта  $F$  под резервуаром, которые позволяют говорить о том, что при проведении численного моделирования тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив с учетом теплоотвода в грунт, для рассматриваемого в данной работе примера, расчетную область можно ограничить 40 м<sup>2</sup>.

#### Выводы:

Показана необходимость учета теплоотвода в грунт при проведении прогностического моделирования тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о перспективности применения разработанной модели и методики численного анализа для оценки масштабов тепловых потерь резервуаров для хранения резервных топлив с учетом интенсивного теплоотвода в грунт.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).*

#### Литература:

1. Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 611 с.
2. Назмеев, Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: учебное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 288 с.
3. Олимпиев В.В. Экономия энергетических и финансовых затрат при эксплуатации основных резервуаров мазутных хозяйств ТЭС и котельных // Теплоэнергетика, 2003, № 9, с. 40-45.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕССОЛИВАНИЯ СТОКОВ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ

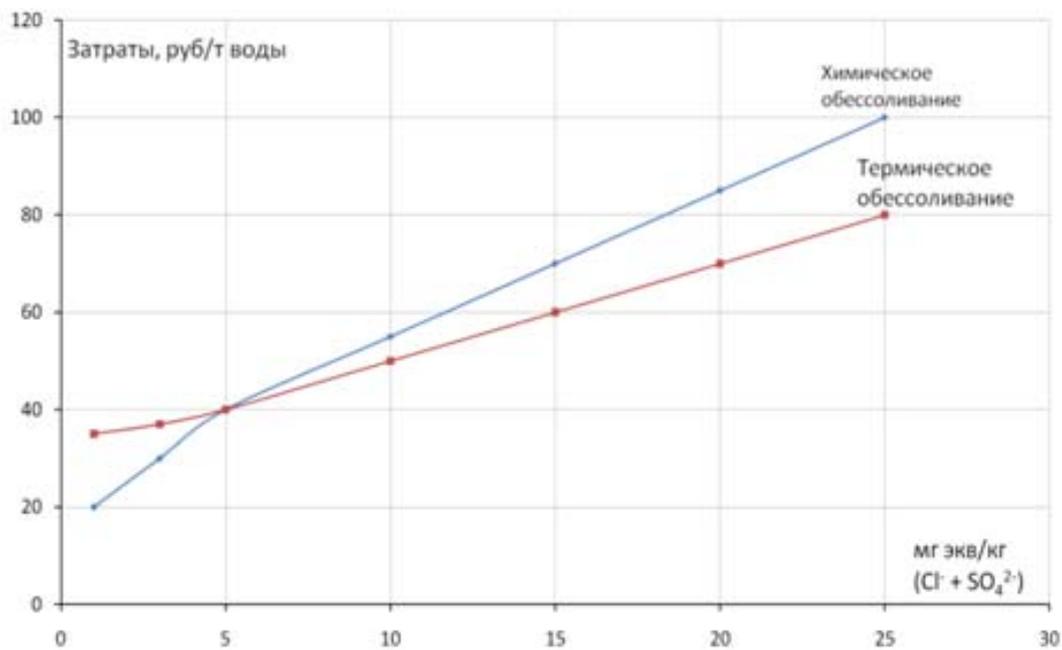
Афанасьев К.Ю.

Научный руководитель: Молодежникова Л.И., ст. преподаватель  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [afalina1@sibmail.com](mailto:afalina1@sibmail.com)

В последнее время энергоэффективности, ресурсосбережению и охране окружающей среды начало уделяться большое значение. При стремлении достичь поставленных целей на ТЭЦ главными путями являются эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, максимальное использование вторичных энергоресурсов, эффективное использование территории станции и водных ресурсов.

ТЭЦ являются крупными источниками различных видов сточных вод, из которых следует выделить стоки водоподготовительных установок вследствие высокого содержания солей, в частности сульфата натрия, в настоящее время сливаемые на большинстве ТЭЦ в пруды-накопители шлама.

Рисунок 1 Сравнение затрат на химическое и термическое обессоливание



В настоящее время обессоленную воду на большинстве крупных предприятий получают с применением метода ионного обмена в специальных ионообменных фильтрах из поверхностных вод, затрачивая при этом большие количества дорогостоящих ионообменных смол и реагентов. Из анализа стало ясно, что при обессоливании сточных вод, в которых содержание анионов сильных кислот превышает 5 мг экв/кг, термическое обессоливание экономически выгоднее химического обессоливания [2]. Зависимость можно увидеть на рисунке 1.

Рассматривая проблемы энергоресурсосбережения и экологии в едином ракурсе,

Непосредственный сброс сточных вод водоподготовительных установок в водоемы невозможен из-за резкопеременных значений pH, выходящих за пределы 6,5-8,5, оптимальных для воды в водоемах, а также высокого содержания в них грубодисперсных примесей и солей.

Удаление грубодисперсных примесей и регулирование pH не представляют труда, но снижение концентрации истинно-растворенных примесей должно сводиться к повторному проведению тех же самых процессов, которые использовались на водоподготовительных установках. Это, в конечном счете, приведет к резкому возрастанию количества сбрасываемых солей со значительным увеличением суммарных затрат на очистку воды [1].

возникает вопрос о выборе наиболее эффективного метода упаривания сточных вод водоподготовительной установки ТЭЦ.

Наиболее подходящие для выпаривания сточных вод испарительные установки условно можно разделить на те, в которых раствор контактирует и не контактирует с поверхностью нагрева. В установках первого типа образуются отложения солей с соответствующим снижением плотности теплового потока и производительности установок. При этом неизбежны периодические остановки на очистку поверхности нагрева, снижающие технико-экономические показатели и усложняющие эксплуатацию установок. Степень

Рисунок 2 График определения областей использования выпарных установок

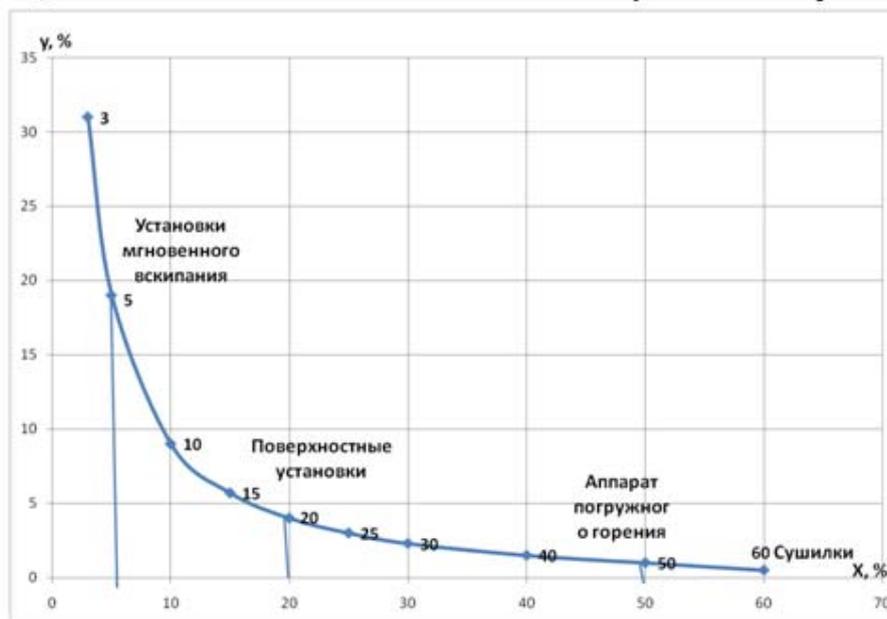


Рисунок 2 График определения областей

концентрирования в них существенно ограничена из-за резкого увеличения отложений с ростом концентрации раствора [3].

Выбор метода термического обессоливания может быть проведен на основе графоаналитического метода. Из графика на рисунке 2 видно, что выбор того или иного выпарного аппарата зависит от той концентрации раствора, которую мы хотим получить и от конечного содержания воды в растворе, соответственно, эффективно и экономично получить высококонцентрированный насыщенный продукт можно только в аппарате погружного горения с последующей сушкой. Соответственно применение аппарата погружного горения позволит не только обессоливать воду, но и получать высококонцентрированный сульфат натрия.

В этих аппаратах создаются хорошие условия теплообмена между нагретыми газами и жидкостью, так как при барботаже нагретые газы распыляются в виде пузырьков и образуют большую межфазную поверхность. Интенсивное перемешивание раствора ускоряет процесс нагрева.

Включение АПГ в состав оборудования технологической схемы ТЭЦ позволит кардинально решить такие задачи как:

- Полностью прекратить сброс загрязненных сточных вод водоподготовительной установки в природные водоемы и пруды-накопители шлама;
- Сократить потребление свежей воды из природных источников;
- Создать благоприятные санитарно-гигиенические условия на электростанции;
- Регулировать расход воды в системах обратного водоснабжения за счет стабильности параметров;

- Снизить капитальные затраты на установку очистных сооружений;
- Получить экономический эффект при утилизации сточных вод за счет реализации сульфата натрия [3].

Упаривание стоков в АПГ позволит свести к нулю объемы прудов-накопителей шлама, в которые ранее сливались стоки водоподготовительной установки ТЭЦ, то есть будет создана безотходная установка упаривания воды, которая даст возможность получить концентрированный сульфат натрия, а также эффективно и рационально использовать водные ресурсы и территорию энергетической станции.

#### Список литературы:

1. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: учебное пособие / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. — М.: Энергоиздат, 1981. — 295 с.
2. Вихрев В. Ф. Водоподготовка: учебное пособие / В. Ф. Вихрев, М. С. Шкроб. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1973. — 416 с.
3. Аппараты погружного горения: учебное пособие для вузов / А. Н. Алабовский, П. Г. Удыма. М.: Изд-во МЭИ, 1994. — 255 с.
4. Аппараты с погружными горелками / П. Г. Удыма. — 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1973. — 271 с.
5. Русанов А.А. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. — М.: Энергия, 1969. — 456 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Афанасьев К.Ю.

Научный руководитель: Молодежникова Л.И., ст. преподаватель  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [afalina1@sibmail.com](mailto:afalina1@sibmail.com)

За последнее время в промышленно развитых странах разработано и внедрено множество достаточно совершенных установок для преобразования энергии органического топлива в электрическую энергию и теплоту. Для дальнейшего повышение технико-экономических показателей таких установок требуется поиск таких методов, применение которых позволило бы существенно повысить технико-экономические показатели работы энергетического оборудования и одновременно улучшить его экологические показатели.

В качестве решения этой проблемы на промышленных предприятиях, использующих в качестве топлива природный газ, является применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА). По существу магистральным газопроводам газ транспортируется с давлением до 5 – 8 МПа. При этом обычно газ используется более низкого давления 0,15 МПа. Чаще всего уменьшение давления газа производится в дросселирующих устройствах, в которых вся энергия потенциальная энергия газа расходуется на преодоление гидравлического сопротивления, т.е. теряется безвозвратно.

Если учесть существующее и постоянно растущее мировое потребление природного газа, то при подобном дросселировании потери энергии могут составить многие десятки миллиардов киловатт-часов в год.

В целом ряде государств в настоящее время уделяется значительное внимание полезному использованию энергии избыточного давления газа, разработке и внедрению соответствующих установок.

Детандер-генераторный агрегат представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе.

Интерес крупных промышленных предприятий к внедрению установок малой энергетики до последнего времени объяснялся чисто экономическими мотивами - возможностью в несколько раз сократить платежи за поставляемую электроэнергию. Так себестоимость энергии на ДГА сегодня от 10 до 20 копеек за кВтч в зависимости от способа подогрева газа перед расширением.

Однако происходившие в последние годы аварии и отключения, резкий рост тарифов, реструктуризация РАО «ЕЭС России» - вызывают сомнения в надежности централизованного снабжения предприятий электроэнергией.

Целью данной работы было рассмотрение двух схем детандер - генераторных установок, которые могут быть применены для Северной ТЭЦ. Согласно данным, взятым из проекта газификации

станции, для рассматриваемых схем был выбран турбодетандер ДГА-7000, производимый ОАО «Криокор».

Существует много схем подключения ДГА к системе газоснабжения предприятия и эффективность зависит главным образом от вида подогрева газа перед ДГА.

Газоперерабатывающие комбинаты, а также предприятия, использующие природный газ в технологическом цикле, например, химические производства - часто имеют собственные пункты редуцирования природного газа, что значительно уменьшит затраты на передачу электроэнергии. Часто газовый ввод на предприятии не позволяет из-за незначительности расхода газа поставить детандер-генераторный агрегат необходимой мощности. В этом случае необходимо поставить вместе с ДГА газотурбинную установку для получения электрической энергии. С другой стороны, если предприятие решило строить для себя газотурбинную электростанцию (КПД не выше 35%), оснащение ее детандер-генераторным агрегатом, а именно это первая схема подключения ДГА (Рис.1), позволит поднять электрический КПД до 65%. Газотурбинная электростанция превращается в энергосберегающую.

При использовании первой схемы существенно улучшаются экологические аспекты выработки электроэнергии, так как выбросы в атмосферу пропорциональны количеству топлива, затраченного на производство 1 кВтч электроэнергии, а эта величина в три раза меньше, чем для традиционного производства энергии.

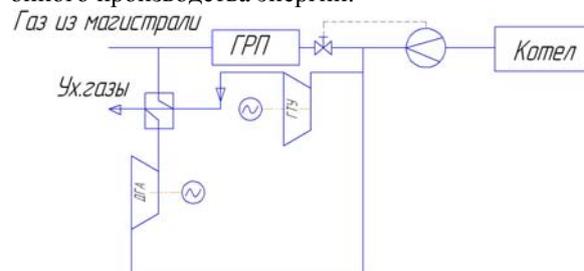


Рисунок 1 Схема подключения ДГА к системе газоснабжения предприятия с использованием подогрева газа продуктами сгорания после ГТУ

Основной проблемой при выборе схемы является подогрев газа перед ДГА для того, чтобы влага, содержащаяся в газе, не замерзла при понижении давления в ДГА и не разрушила лопатки. Максимальная температура подогрева 120 градусов. При повышении температуры нарушается состав газа.

Схема №2 (Рис.2) основывается на подогреве газа перед ДГА с помощью продувочной воды котельного агрегата.

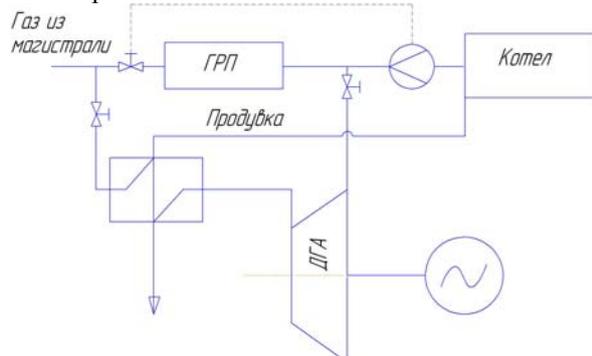


Рисунок 2 Схема подключения ДГА к системе газоснабжения предприятия с подогревом газа от продувочной воды котельного агрегата

Недостаток многих схем, включая схему №2, является то, что необходимо поддерживать постоянный расход газа. Не каждое предприятие имеет постоянный расход в течение суток, поэтому здесь выигрывают схемы с использованием ГТУ.

При оценке эффективности применения детандер-генераторных агрегатов необходимо проанализировать все изменения, происходящие с потоком газа, по сравнению с исходным, уже существующим вариантом газоснабжения. При этом необходимо также учитывать, какое влияние оказывает использование ДГА на работу газопотребляющего оборудования. Это вызвано тем, что полная энергия, которую поток газа отдает в топке котла или печи, определяется не только теплотой его сгорания, но и физической теплотой топлива. Следовательно, если газ после ДГА сразу направляется на сжигание, то эффективность использования ДГА для получения электроэнергии следует определять на основе системного подхода, т.е. с учетом того, как теплосодержание газового потока повлияет на технико-экономические показатели, в частности, на расход топлива всей установки в целом по сравнению с тем, когда снижение давления газа происходило за счет дросселирования потока.

Эффективное использование ДГА в котельных и на станциях требует проведения исследований как при решении технических, так и технико-экономических вопросов.

После проведения расчетов был сделан вывод, что расход газа увеличивается с увеличением температуры подогрева газа, это увеличение составляет 0,02% на каждые 10 градусов от расхода до включения ДГА. На рисунке 3 показаны результаты расчета изменения КПД станции после включения ДГА при различных значениях температуры подогрева газа  $t_1$  для схем с подогревом газа продук-

тами сгорания ГТУ и продувочной водой котельного агрегата.

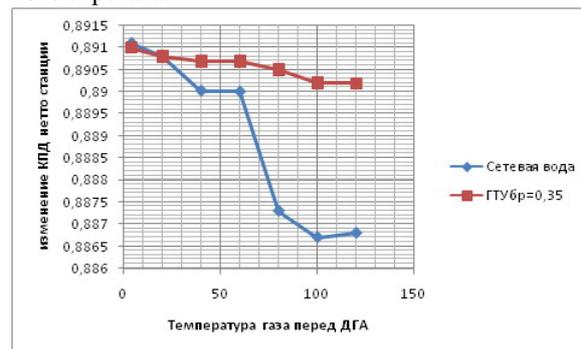


Рисунок 3 График зависимости КПД станции от температуры подогрева газа перед ДГА различными способами.

Соответственно можно видеть, что величина КПД станции при подогреве газа продуктами сгорания выше, чем у конкурента.

При использовании ДГА с нагревом газа от продуктов сгорания ГТУ на Северной ТЭЦ будут достигнуты такие результаты как:

1. Использование потенциальной энергии газа для получения электрической энергии, которой вполне хватит для работы циркуляционных насосов.
2. Увеличение выработки электрической энергии за счет установки ГТУ.
3. Повышение КПД станции на 2,5-3%.
4. Снижение выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Все это, в конечном итоге, повысит технико-экономические и экологические показатели станции.

#### Список литературы:

1. Тепловой расчёт котлов (Нормативный метод). - издание 3-е, перераб. и дополн.-С.-Пб.:НПО ЦКТИ, 1998. - 256 с.:ил.
2. Эстеркин Р.И. Эксплуатация котлоагрегатов на газообразном топливе. - М.: Гостоптехиздат, 1963.
3. Тепловые электрические станции /В.Л. Гиршфельд - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 328 с.
4. Роддатис К.Ф. Котельные установки. М.: Энергия, 1977. - 432 с.
5. Бухаркин Е.Н. Газотурбинные установки в водогрейных котельных // «Промышленная энергетика», № 2, 2006. с. 43 - 48.
6. Бухаркин Е.Н. Газотурбинные установки в водогрейных котельных // «Промышленная энергетика», № 2, 2006. с. 43 - 48.

## ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАГЕНТА ПО ДЛИНЕ КАНАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Ахметшин Е.А.

Научный руководитель: Румянцев В.В., к.т.н., доцент  
Камская государственная инженерно-экономическая академия,  
423810, г. Набережные Челны, проспект Мира, 68/19  
E-mail: [evgeniy.dvs@gmail.com](mailto:evgeniy.dvs@gmail.com)

В энергетических устройствах различного назначения применяются теплообменные аппараты (ТА), от эффективности работы которых зависит эффективность (КПД) самих устройств.

В общем случае (за исключением ТА смешанного типа) в ТА горячий и холодный реагенты разделены непроницаемой твердой стенкой. При проектировании ТА задача оптимизации (функция цели) может быть сведена к следующему: получение конструкции с минимальными размерами ( $V \rightarrow V_{\min}$ ) с максимальной тепловой эффективностью ( $E \rightarrow E_{\max}$ ) и минимальными потерями энергии на прокачку реагентов ( $\Delta N_{\Sigma} \rightarrow \Delta N_{\Sigma \min}$ ).

Трудоемкость, временные затраты и общая стоимость работ по созданию высокоэффективных ТА определяется этапом опытной отработки конструкции. Последнее всецело зависит от точности проектировочных расчетов. При абсолютно точном расчетном прогнозировании тепловых и гидравлических характеристик ТА будет возможным полностью отказаться от опытных доводочных работ. Поэтому совершенствование расчетных методов проектировочного расчета ТА позволяет сократить сроки и стоимость создания их новых конструкций.

Известные методики теплового и гидравлического расчетов ТА имеют следующие недостатки:

1. Расчет тепловых и гидравлических параметров теплоносителей ведется без учета их взаимного влияния.
2. Граничные условия теплообмена определяются как средние по внешней и внутренней поверхностям теплообмена, что сводит практически на нет возможности дальнейшего анализа с привлечением численных методов, реализованных в системах САД/САЕ.

Для решения этих проблем была предложена методика расчетов ТА основанная на методе последовательных приближений с дискретизацией расчетной области на элементарные объемы, в каждом из которых необходимо выполнение условия баланса количества теплоты [1].

В настоящей работе приводится оценка изменений теплофизических свойств одного из реагентов и расчет локальных граничных условий теплообмена на примере одиночной трубы.

Расчеты проводились при следующих допущениях:

1. Условия теплообмена – коэффициент теплоотдачи и температура – на наружной поверхности трубы задавались постоянными.
2. Термическое сопротивление стенки не учитывалось.

Исходные данные для расчета выбирались таким образом, чтобы течение в трубе соответствовало течению в каналах реально существующих ТА: число Рейнольдса  $Re=4000 \dots 5000$ , температура на входе  $T_b=453$  К, давление на входе  $P_b=0,23$  МПа. В качестве теплоносителя был выбран воздух. Условия теплообмена по наружной стороне задавались так чтобы получить глубину охлаждения от 50 до 150 К.

Теплообмен и потери давления внутри канала рассчитывались по уравнениям подобия:

- Число подобия Нуссельта:

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \times \epsilon \quad [2], \text{ где}$$

$Re$  – число подобия Рейнольдса,

$Pr$  – число подобия Прандтля,

$\epsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние входного участка.

- Коэффициент трения:  $\lambda = \frac{1}{(1.82 \times \lg Re - 1.64)^2}$   
(при  $Re > 4000$ ) [3].

Всего было проведено 7 расчетов, результаты которых представлены на рис. 1-2. На рисунках  $E$  – тепловая эффективность,  $x/d$  – относительная длина канала.

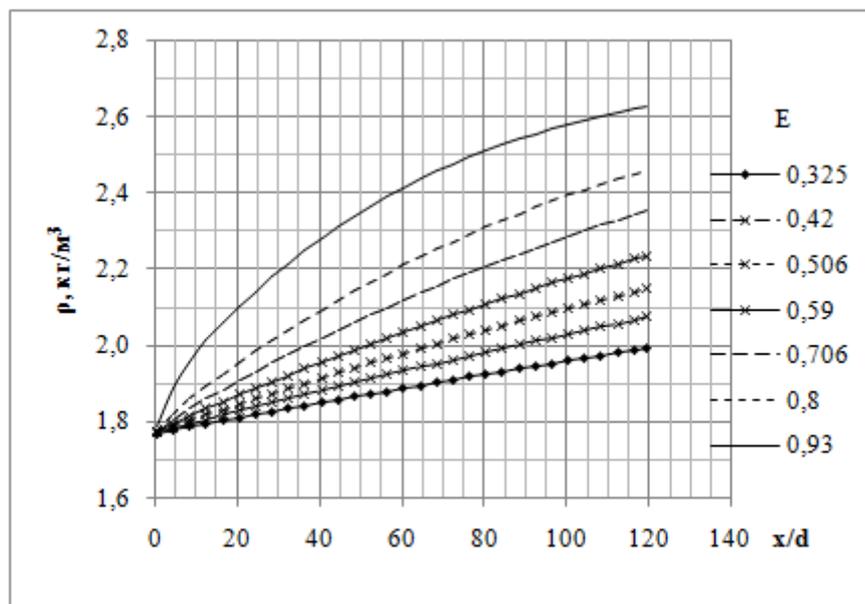


Рис. 1 График изменения плотности при различной тепловой эффективности.

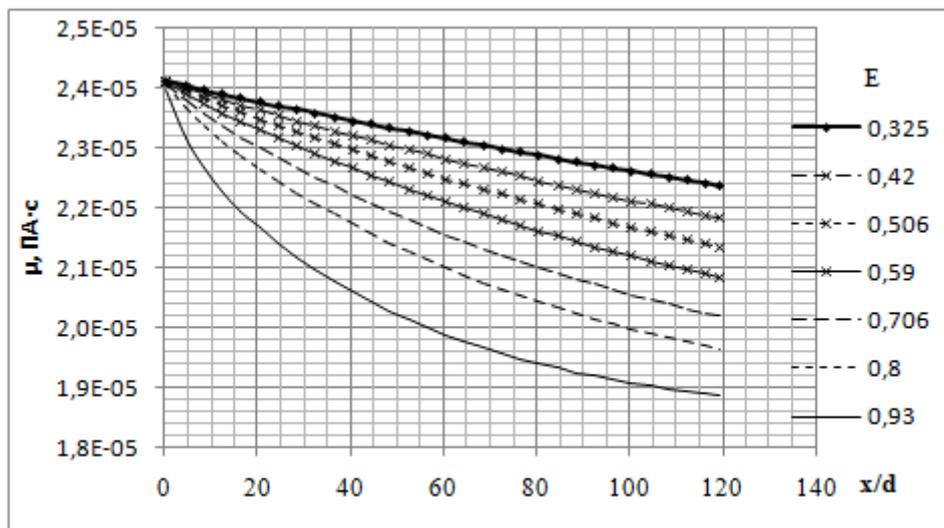


Рис. 2 График изменения вязкости при различной тепловой эффективности.

**Литература:**

1. Румянцев В.В., Ахметшин Е.А., Кузьмин И.А. Расчет охладителей наддувочного воздуха комбинированных ДВС с учетом изменения теплофизических свойств теплоносителей / Сборник научных трудов международной конференции Двигатель-2010, посвященный 180-летию МГТУ им. Н.Э.Баумана // Под редакцией Н.А.Ивашенко, В.А.Вагнера, Л.В. Грехова – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010, с.164-167.
2. Исаченко В. П., В.А Осипова, А.С. Сукомел. Теплопередача. Учебник для вузов. / Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975. – 488с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям /Под ред. М.О. Штейнберга – Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: «Машиностроение», 1992. – 672с.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ТОПКЕ КОТЛА БКЗ-320-140 ОТ ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Васильев А.А., Дубровин С.П., Н.В. Визгавлюст

Научный руководитель: Н.В. Визгавлюст

Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

Защита атмосферного воздуха является одной из актуальных проблем современности, необходимость которой инициирована несовершенной хозяйственной деятельностью человека. Наибольшую опасность создают искусственные антропогенные источники загрязнения воздуха, в первую очередь, связанные с процессами сжигания органических топлив. Основными, постоянно действующими источниками загрязнения воздушного бассейна относятся работающие на угле теплоэлектростанции и промышленные топливосжигающие установки, поставляющие в атмосферу в больших количествах кроме оксидов серы (SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>) и оксидов азота (NO и NO<sub>2</sub>), твердые частицы (зола, пыль, сажа), а так же (в меньших количествах) оксиды углерода, альдегиды, органические кислоты [1]. Поэтому прогнозирование образования вредных веществ при сжигании натурального топлива в котлоагрегатах тепловых электростанций остается одной из актуальных задач для энергетики.

Получение сведений с помощью методов математического моделирования решает проблему большой трудоемкости и высокой стоимости проведения промышленных испытаний или физического моделирования, необходимых для оценки конструктивных изменений и оптимизации инженерных решений.

В данной работе описывается численное моделирование образования оксидов азота при горении пылевидного топлива в топке промышленных котлоагрегатов на базе разработанной Митчеллом и Тэрболом [2] кинетической модели образования NO при сжигании угольной пыли.

Эта модель удобна в использовании, т.к. ее кинетическая схема включает только 13 реакций (сюда входят реакции догорания коксового остатка и выхода и горения летучих) и соответствует современному представлению о химических процессах, ведущих к образованию оксидов азота при сжигании твердого топлива.

Процесс образования оксидов азота можно представить следующим образом: при быстром нагреве частицы угля происходит ее термическое разложение (пиролиз), в результате которого имеет место выход летучих компонентов угля, в том числе углеводородов и азота топлива. При этом часть связанного азота топлива (до 70–80 %) практически мгновенно переходит, а газовую фазу в виде цианидов. Затем происходит газовое горение углеводородных компонентов летучих и гетерогенное догорание коксового остатка. Остальной азот (20–30 %), равномерно распределенный по частице кокса, окисляется прямо до NO со скоростью, про-

порциональной скорости догорания коксового остатка (реакция 2). Цианиды, образовавшиеся при выходе летучих, переходят (реакция 3) в амины, которые, реагируя с O<sub>2</sub> (реакция 4) или NO (реакция 5), могут способствовать образованию оксидов азота либо восстановлению N<sub>2</sub> из NO. Кроме того, важным с точки зрения конверсии оксидов азота является реакции образования HCN в результате взаимодействия с NO (реакция 6) и гетерогенная реакция между NO и частицей кокса (реакция 7).

(реакция 1) N (в летучих) → HCN;

(реакция 2) N (в коксе) + 0,5O<sub>2</sub> → NO;

(реакция 3) HCN + H<sub>2</sub>O + 0,5O<sub>2</sub> → NH<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>;

(реакция 4) NH<sub>3</sub> + O<sub>2</sub> → NO + H<sub>2</sub>O + 0,5H<sub>2</sub>;

(реакция 5) NH<sub>3</sub> + NO → N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + 0,5H<sub>2</sub>;

(реакция 6) NO + углеводороды → HCN + H<sub>2</sub>O;

(реакция 7) C (кокс) + 2NO → CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>;

(реакция 8) N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> ↔ 2NO;

(реакция 9) H<sub>2</sub> + 0,5O<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>O.

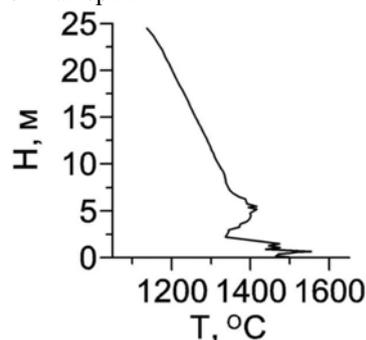
Численные исследования на основе предложенной модели проведены в камерной топке котла БКЗ–320–140ПТ с последующей верификацией полученных результатов по экспериментальным данным [3].

Котельный агрегат БКЗ–320–140ПТ спроектирован для сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна [3]. Выполнен однокорпусным по П – образной компоновке с симметричным расположением поверхностей нагрева. Топочная камера – полуоткрытого типа с жидким шлакоудалением. На отметке 11 400 фронтальный и задний экраны образуют «пережим», отделяющий камеру горения от камеры охлаждения. Камера горения состоит из двух сообщающихся восьмигранных предтопок с футерованными экранами, каждый из предтопок оборудован четырьмя прямоточными горизонтально щелевыми горелками. Оси горелок каждого предтопка направлены по касательной к воображаемой окружности диаметром 980 мм и наклонены к поду на 15°. В «пережиме» расположены сбросные горелки, через которые производится сброс в топку слабо запыленного сушильного агента из системы пылеприготовления.

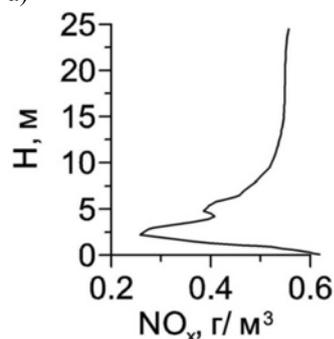
Расчеты распределения концентрации оксидов азота, температуры и концентрации кислорода по высоте топки выполнялись с использованием аэротермодинамических и температурных полей, полученных с помощью пакета прикладных программ FIRE 3D [4], в зависимости нагрузки котла при избытке воздуха на выходе из топки 1,22.

На рис. 1 представлено типичное распределение интегральных значений температуры, концентра-

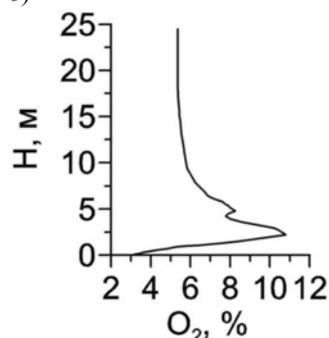
ций оксидов азота и кислорода по высоте топочной камеры.



а)



б)



в)

Рис. 1. Распределение средних в горизонтальных сечениях по высоте топочной камеры: а) концентрации оксидов азота, б) концентрации кислорода, в) температуры факела

Как видно из рис. 1, распределение характеристик по высоте топочной камеры, указывает, что процесс горения топлива завершается на высоте  $\approx 10$  м, область максимальных значений температур (до  $1400^\circ\text{C}$ ) и процесс образования оксидов идет в сравнительно не большой зоне выше уровня горелочного пояса.

Сравнение полученных численных результатов с натурными исследованиями [3] в зависимости от избытка воздуха представлено на рисунке 2.

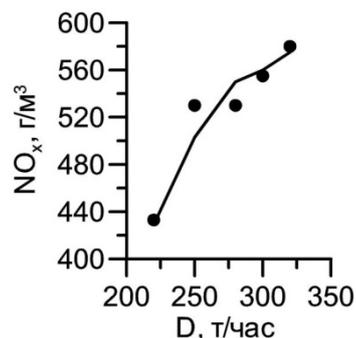


Рис. 2. Изменение концентрации оксидов азота в зависимости от избытка воздуха, ● – экспериментальные данные [3]

Из рисунка 2, видно, что разработанная численная модель имеет достаточно высокую адекватность предсказания генерации оксидов азота, поскольку средняя погрешность между численными результатами и экспериментальными данными составляет 2 %. И в дальнейшем может рассматриваться как постпроцессор к пакету Fire3D [4] и вместе с ним использоваться для вариантной проработки конструктивных решений при проектировании и модернизации котельных агрегатов.

#### Список литературы:

1. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 144 с., ил.
2. Mitchell J.W., Tarbell J.M. A kinetic model of nitric oxide formation during coal combustion // American Institute of Chemical Engineers Journal. – 1982. – V. 28. – № 2. – P. 302–310.
3. Будилов О.И., Заворин А.С. Опыт улучшения экологических характеристик тепловой электростанции. – Томск.: Издательство «Красное знамя», 1994. – 100 с.
4. Заворин А.С., Красильников С.В., Старченко А.В. Программный комплекс для расчета и визуализации трехмерных реагирующих турбулентных течений в топках котлов // Проблемы использования канско-ачинских углей на электростанциях: Матер. Всеросс. научно-практ. конф. – Красноярск: СибВТИ, 2000. – С. 369–371.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНОЙ КАПЛИ ВОДЫ С ПЛАМЕНЕМ

Волков Р.С., Стрижак П.А.

Научные руководители: Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., профессор; Стрижак П.А., д.ф.-м.н., доцент  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: [roman.s.volkov@mail.ru](mailto:roman.s.volkov@mail.ru)

В связи с тревожной динамикой [1] роста числа возгораний, пожаров и взрывов, на производствах, использующих горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, в последние годы особенно актуальна задача разработки высокоэффективных технологий тушения. Многочисленные исследования [2–5] показали, что в качестве наиболее эффективной можно считать технологию тушения пламени тонкораспыленной водой. Основную сложность [4] в разработке новой технологии представляют исследования процессов взаимодействия капель жидкости с пламенем. Известные установки [2, 3] не позволяют провести такие исследования с высокой степенью детализации процессов тепло-массопереноса и фазовых превращений. Поэтому интерес представляет численный анализ условий взаимодействия капли воды с пламенем.

Цель настоящей работы – численное исследование макроскопических закономерностей тепло-массопереноса при взаимодействии одиночной капли воды с пламенем.

Принята следующая схема исследуемого процесса. Одиночная капля воды движется со скоростью  $V$  под действием силы тяжести в области продуктов сгорания (рис. 1).

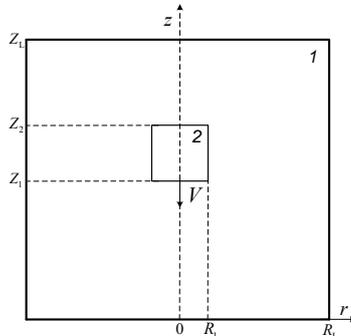


Рис. 1. Схема области решения задачи: 1 – капля, 2 – область пламени

Начальная температура капли  $T_0$  принималась существенно ниже температуры пламени  $T_f$ . На границе «жидкость – пламя» происходит парообразование (испарение). Пары воды вдуваются в газовую область и смешиваются с продуктами сгорания. В условиях интенсивного парообразования капля испаряется. Фиксируется время полного испарения капли. Интерес представляет оценка времени жизни капли.

Приняты следующие допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи:

1. Теплофизические характеристики взаимодействующих веществ не зависят от температуры.
2. Капля рассматривается в форме цилиндрическо-

го диска. Ее конфигурация при движении не изменяется.

3. Газовая среда – бинарная (включает дымовые газы и водяной пар).

4. Не учитываются силы трения и сопротивления при движении капли.

Математическая модель (рис. 1) включает систему дифференциальных уравнений вида:

$$0 < r < R_L, 0 < z < Z_1; R_1 < r < R_L, Z_1 < z < Z_2; 0 < r < R_L, Z_2 < z < Z_L$$

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left[ \frac{\partial T_1^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial T_1^2}{\partial z^2} \right], \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} = D_3 \left[ \frac{\partial C_w^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_w}{\partial r} + \frac{\partial C_w^2}{\partial z^2} \right], \quad (2)$$

$$C_f + C_w = 1, \quad (3)$$

$$0 < r < R_1, Z_1 < z < Z_2$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left[ \frac{\partial T_2^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial T_2^2}{\partial z^2} \right]. \quad (4)$$

Здесь  $r, z$  – координаты цилиндрической системы, м;  $R_L, Z_L$  – размеры области решения, м;  $t$  – время, с;  $C$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $C_w$  – концентрация паров воды;  $D$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $C_f$  – концентрация продуктов сгорания; индексы 1, 2, 3 соответствуют продуктам сгорания, капле воды, парам воды.

Начальные условия:  $T = T_0$  при  $0 < r < R_1, Z_1 < z < Z_2$ ;  $T = T_f, C_f = 1, C_w = 0$  при  $0 < r < R_L, 0 < z < Z_1; R_1 < r < R_L, Z_1 < z < Z_2; 0 < r < R_L, Z_2 < z < Z_L$ .

Граничные условия: на границах «жидкость – пламя» ( $r = R_1, Z_1 < z < Z_2; z = Z_1, z = Z_2, 0 < r < R_1$ ) принимались граничные условия IV рода для уравнений энергии с учетом парообразования, для уравнения диффузии задавались граничные условия II рода с учетом вдува паров воды; на оси симметрии ( $r = 0, 0 < z < Z_L$ ) и внешних границах ( $r = R_L, 0 < z < Z_L; z = 0, z = Z_L, 0 < r < R_L$ ) для всех уравнений принималось условие равенства нулю градиентов соответствующих функций.

Численные исследования выполнены при следующих значениях параметров: температура капли воды  $T_0 = 300$  К; температура пламени  $T_f = 1170$  К; тепловой эффект испарения воды  $Q_{и} = 2,26$  МДж/кг; размеры капли  $R_d = 0,25 \div 2,5$  мм,  $Z_d = 0,5 \div 5$  мм; размеры области решения  $R_L = 50$  мм,  $Z_L = 3$  м; начальная скорость капли  $V_0 = 0,5$  м/с; молекулярная масса воды  $M = 18$  кг/кмоль. Теплофизические характеристики приведены в [4].

В результате численных исследований установлена зависимость (табл. 1) времени жизни капли  $t_d$  от ее размеров. Показано, что в условиях средней температуры при прохождении через пламя капля полностью испаряется за достаточно длительный период.

Таблица 1. Зависимость времени жизни капли от ее размеров

$R_d$ , мм	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
$t_d$ , с	0,82	1,24	1,79	2,44	3,25	4,02	4,87	5,74	6,71	7,63

На рис. 2, 3 приведены поля температур и концентраций в зоне горения через 1 секунду с момента начала движения в ней капли воды. Видно (рис. 2), что температура смеси существенно снижается относительно  $T_f$  только в малой окрестности траектории движения капли. При этом наибольшие градиенты температур наблюдаются вблизи торцевой поверхности капли. После прохождения капли в следе температура начинает подниматься относительно температуры капли. Однако, этот рост несущественен. Как правило, такой температуры (не более 700 К) недостаточно для стационарного горения типичных горючих жидкостей. Можно сделать вывод о том, что при наличии потока водяных капель малых размеров с высокой плотностью распыления обеспечатся условия, препятствующие горению жидкости.

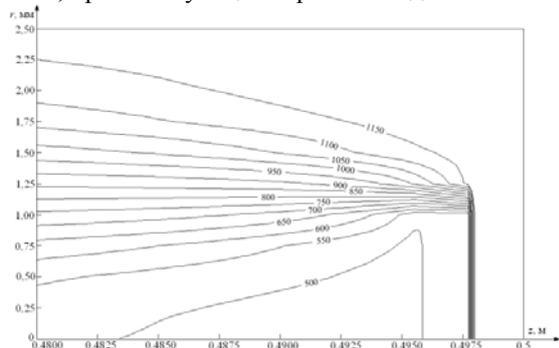


Рис. 2. Температурное поле в системе при  $t=1$  с,  $R_d = 1$  мм,  $Z_d = 2$  мм

На рис. 3 видно, что концентрация паров воды достаточно высока вблизи боковых граней и в следе траектории движения капли. Однако, максимальные градиенты концентрации водяных паров также, как градиенты температур, формируются во фронте движения капли. Важно отметить, что концентрация паров достаточно высока и при относительно удалении от траектории движения капли. Этот результат показывает, что водяные пары вытесняют продукты сгорания на расстоянии нескольких характерных размеров капли вблизи траектории движения. Можно предположить, что при наличии нескольких капель будет формироваться паровая завеса, исключая возможность фор-

мирования требуемых для стационарного горения концентраций окислителя и горючего.

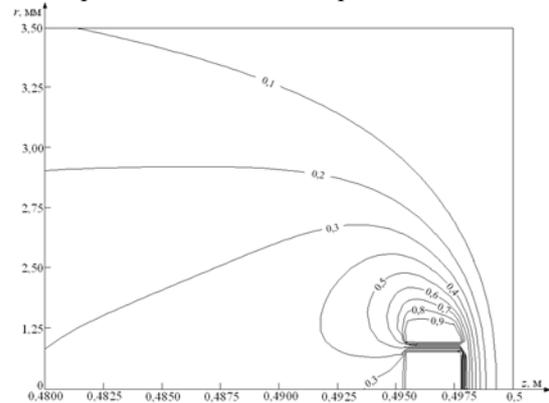


Рис. 3. Поле концентраций в системе при  $t=1$  с,  $R_d = 1$  мм,  $Z_d = 2$  мм

Численные исследования позволили определить основную интегральную характеристику процессов взаимодействия капли воды с пламенем – среднее времени жизни капли  $t_d$ . Найденные значения  $t_d$  показывают, что для эффективного вытеснения продуктов сгорания водяными парами и снижения температуры в зоне горения следует существенно измельчать капли воды.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-620.2012.8).*

#### Список литературы:

- Акинин, Н.И. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах / Н.И. Акинин, Н.Н. Булхов, В.А. Гериш // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – № 10. – С. 53–55.
- Карпышев, А.В. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ / А.В. Карпышев, А.Л. Душкин, Н.Н. Рязанцев и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 2. – С. 69–73.
- Гаев, Д.В. Система противопожарной защиты салона вагона метрополитена на базе высоких технологий / Д.В. Гаев, А.В. Ершов, В.П. Прохоров, А.В. Карпышев, А.Л. Душкин и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 3. – С. 67–72.
- Душкин, А.Л. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой / А.Л. Душкин, С.Е. Ловчинский // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – № 11. – С. 53–55.
- Душкин, А.Л. Особенности распространения жидкостной струи в атмосфере / А.Л. Душкин, А.В. Карпышев, С.Е. Ловчинский // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – № 12. – С. 45–48.

## ПОТЕРИ ОТ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ В СТУПЕНЯХ ЦИЛИНДРОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Волосач А.П.

Научный руководитель: Беляев Л.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [VAP@sibmail.com](mailto:VAP@sibmail.com)

Актуальность данной темы обусловлена тем, что по настоящее время никто не может с достоверной точностью заявить, каким образом происходит распределение дисперсности (жидкой фазы) по проточной части турбины. Поэтому дальнейшие изучения и расчеты в этой области могут дать более полную картину и ответить на уже существующие вопросы.

Постановка задачи:

определение потери от ударного воздействия частиц жидкости в ступенях ЦНД, для последней ступени конденсационной турбины типа К-800-240 ЛМЗ.

Исходные данные:

в качестве исходных данных была использована техническая литература [1, 2, 3, 4, 5], то есть за основу были взяты уже проведенные эксперименты, исследования, полученные результаты и различные гипотезы, выдвинутые в данной области.

В ходе проделанной работы, был произведен анализ изменения дисперсности жидкой фазы по проточной части турбины (анализ траектории капель влаги, влияние шага решетки на формирование размера капель и определение размера диаметра капель), расчет скольжения жидкой фазы на входе на рабочие лопатки для различного типа профилей и определение ударной составляющей по высоте лопаток последних ступеней.

Для определения ударной составляющей  $w_{lu}^{gr}$ , м/с и окружного усилия  $R_{lu}$ , Н, необходимо вывести формулу, для этого нужно воспользоваться треугольником скоростей паровой и жидкой фазы (рис. 1), а также (рис. 2) и (рис. 3) для определения  $d_i \rightarrow v \rightarrow w_{lu}^{gr}$ , м/с и  $R_{lu}$ , Н, в зависимости от сечения.

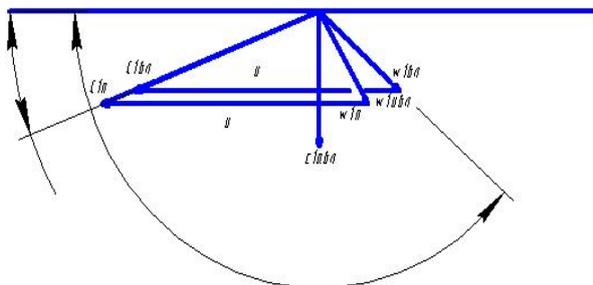


Рис. 1. Треугольник скоростей паровой и жидкой фазы

Относительная скорость жидкой фазы на окружном направлении (ударная составляющая):

$$w_{lu}^{gr2} = \sqrt{w_{lu}^{gr2} - c_1^{gr2}} = \sqrt{c_1^{gr2} + u^2 - 2uc_1^{gr} \cos \alpha - c_1^{gr2} \sin^2 \alpha} = \sqrt{c_1^{gr2} (1 - \sin^2 \alpha) + u^2 (1 - 2 \frac{c_1^{gr}}{u} \cos \alpha)} =$$

$$= c_1^{gr} \sqrt{v^2 (1 - \sin^2 \alpha) + \left(\frac{u}{c_1^{gr}}\right)^2 \left(1 - \frac{2 \cos \alpha v}{\frac{u}{c_1^{gr}}}\right)} \Rightarrow w_{lu}^{gr} = c_1^{gr} \sqrt{v^2 \cos^2 \alpha + \frac{u}{c_1^{gr}} \left(\frac{u}{c_1^{gr}} - 2v \cos \alpha\right)}$$

Окружное усилие:

$$R_{lu} = w_{lu}^{gr} \cdot m_j, \text{ Н, где } m_j = \sum m_i \cdot y, \text{ кг/с.}$$

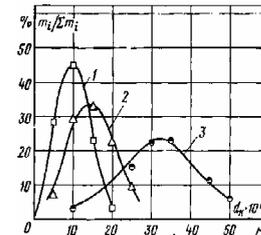


Рис. 2. Распределение дисперсности влаги за ступенью:

1 – среднее сечение; 2 – сечение  $\frac{3}{4}$  длины лопатки; 3 – периферийное сечение

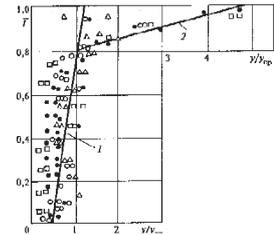


Рис. 3. Распределение влажности по высоте лопаток ступени

Результаты работы:

на основании сделанного анализа был произведен расчет ударной составляющей  $w_{lu}^{gr}$ , м/с и окружного усилия  $R_{lu}$ , Н для трех сечений, по результатам которых были построены графики.

Среднее сечение:

$d_i \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	4	8	12	16	20
$V$	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
$w_{lu}^{gr}, \text{ м/с}$	82,22	92	101	111,5	121,23
$R_{lu}, \text{ Н}$	1,9	3,47	3,57	1,43	0,52

Сечение  $\frac{3}{4}$  длины лопатки:

$d_i \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	8	10	15	22	26
$V$	0,92	0,9	0,84	0,8	0,76
$w_{lu}^{gr}, \text{ м/с}$	217,42	223	239,34	250,3	261,26
$R_{lu}, \text{ Н}$	6,94	7,62	8,86	4,85	1,8

Периферийное сечение:

$d_i \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	26	34	38	44	50
$V$	0,76	0,7	0,64	0,58	0,5
$w_{lu}^{gr}, \text{ м/с}$	368,3	382,03	395,75	409,5	427,77
$R_{lu}, \text{ Н}$	11	13,2	11,8	7,7	4,7

Графики зависимости  $w_{1увл}^{от} = f(d_i)$  для трех сечений

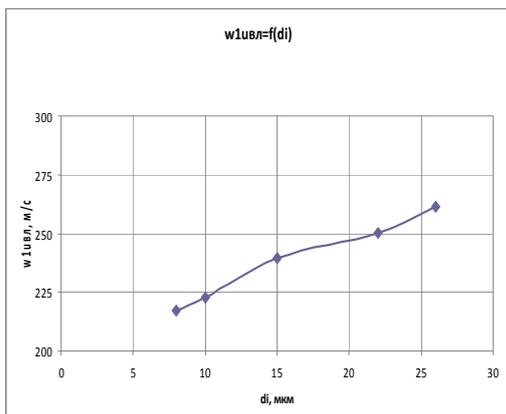


Рис. 4. Среднее сечение

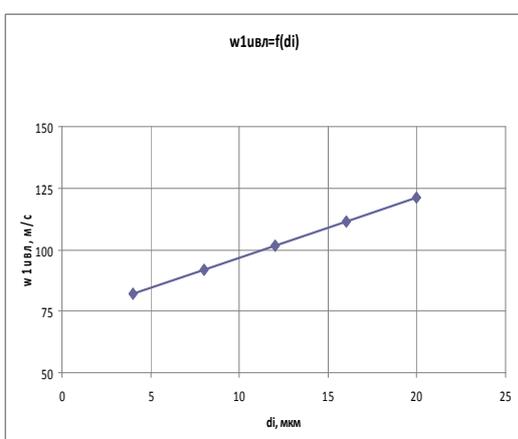


Рис. 5. Сечение  $\frac{3}{4}$  длины лопатки

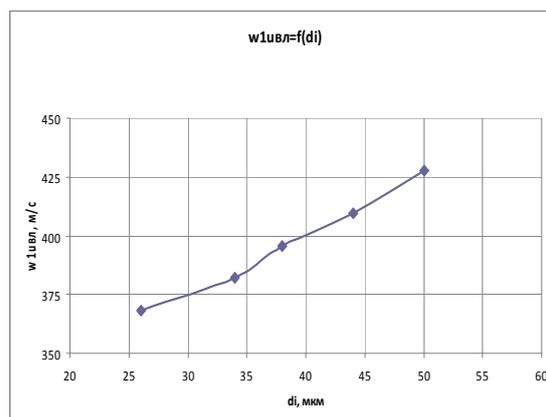


Рис. 6. Периферийное сечение

Вывод:

в данной работе был предложен и рассчитан один из методов определения потери от ударного воздействия частиц жидкости в ступенях ЦНД. По полученным результатам на данным момент нельзя говорить, что данный метод является правильным, можно сказать, что это одна из гипотез определения данной потери, которая требует дальнейшего изучения и анализа.

#### Список литературы:

1. Газодинамика двухфазных сред. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с., ил, Дейч М.Е., Филиппов Г.А.
2. Сепарация влаги в турбинах АЭС. –М.: Энергия, 1980. – 320 с., ил, Филиппов Г.А., Поваров О.А.
3. Турбины тепловых и атомных электрических станций. Под редакцией А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с. Ил.
4. Фадеев И.П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ие), 1974, 208 с.
5. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины, - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 640 с

## КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ

Воронина Ю. А.

Научный руководитель: Немова Т.Н., д.т.н, с.н.с.

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634002, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2

E-mail: [yleia@sibmail.com](mailto:yleia@sibmail.com)

Одной из наиболее острых проблем развития топливно-энергетического комплекса России является проблема энергосбережения.

Теплозащитные свойства теплоизоляционных материалов трубопроводов, как показывает практика, снижаются в процессе эксплуатации. Так, за счет периодических тепло-влажностных воздействий окружающей среды волокнистая изоляция уплотняется, толщина ее уменьшается, а теплопроводность увеличивается [1].

При выборе теплоизоляционного материала для проектируемых теплотрасс специалисты руководствуются преимущественно величиной коэффициента теплопроводности, который в нормативной и справочной документации предоставлен, в основном, для воздушно-сухого материала [2]. На практике же централизованное теплоснабжение связано с разной степенью водонасыщения теплоизоляции (полное или частичное затопление теплотрасс). Для оценки уровня тепловых потерь практикующим специалистам требуется полноценная нормативно-расчетная база данных по зависимости величины коэффициента теплопроводности от влагосодержания для типичных теплоизоляционных материалов. В настоящее время такая база только начинает формироваться.

Для установления основных закономерностей влияния увлажнения на величину коэффициента теплопроводности для типичных теплоизоляционных материалов, используемых при проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения, были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента теплопроводности при их увлажнении и высыхании [3].

С целью оценки способности теплоизоляционных материалов к поглощению влаги материалы помещались в сосуды с водой. Визуально на образце из базальтовой ваты отмечалось мгновенное поглощение воды с изменением объема материала. Общее количество поглощенной воды превышало первоначальный вес образца примерно в 17 раз. После высыхания образец не восстанавливал первоначальную форму и объем.

Следовательно, в этом случае увлажнение в условиях полного затопления теплопровода даже после высыхания теплоизоляции приводит к существенному изменению теплофизических свойств изоляционного материала.

В свою очередь образец из пенополиуретана в течение суток превысил свой вес всего на 8 %, не

изменяя формы и объема. При механическом нарушении поверхностной оболочки образца материал моментально поглощает воду, превышая свой первоначальный вес в десятки раз.

Вместе с тем, образцы, размещенные над водой, сохраняли свой первоначальный вес после четырех суток, не поглощая влагу в течение этого времени.

Таким образом, процесс увлажнения (поглощения влаги) материала начинается только при непосредственном контакте материала с водой.

По методике [3] были получены экспериментальные данные для расчета коэффициента теплопроводности при известном тепловом потоке для разных состояний образца.

На рис. 1 - 4 приведены зависимости коэффициента теплопроводности от времени и от уровня затопления водой теплоизоляционного слоя, полученные при проведении ряда экспериментов на экспериментальной установке, моделирующей реальные условия эксплуатации теплопроводов.

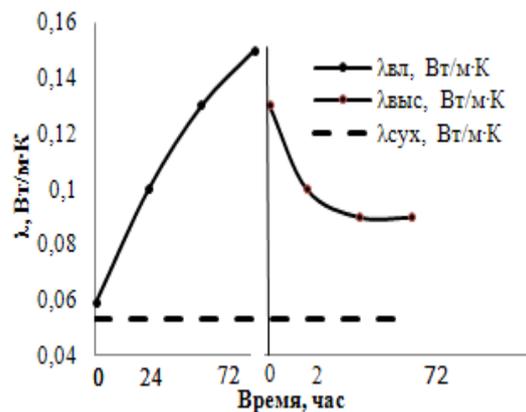


Рис. 1. Результаты экспериментов в стадии увлажнения и естественного высыхания базальтовой ваты.

Из рис 1. видно что, при затоплении слоя теплоизоляционного материала на четверть толщины, уже через 24 часа коэффициент теплопроводности базальтовой ваты существенно увеличивается, а полное насыщение водой вследствие гигроскопичности наступает через 72 часа после начала эксперимента. При этом величина коэффициента теплопроводности базальтовой ваты увеличивается в три раза и сохраняет свое значение при дальнейшем пребывании образца в воде в течение еще 48

часов, а при полном высыхании не восстанавливает исходную величину.

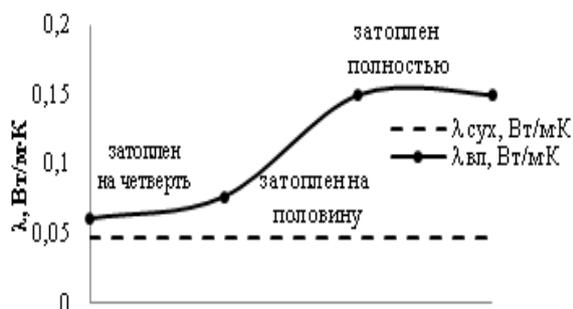


Рис 2. Изменение величины коэффициента теплопроводности пенополиуретана в зависимости от уровня затопления водой изоляционного слоя.

При затоплении толщины слоя пенополиуретана (рис. 2, 3) на четверть наблюдается незначительное повышение коэффициента теплопроводности. При затоплении на половину и при полном погружении слоя изоляции в воду коэффициент теплопроводности существенно увеличивался до некоторого стационарного значения, в два раза превышающего соответствующую величину для сухого материала, и сохраняет это значение при дальнейшем пребывании образца в воде в течение суток.

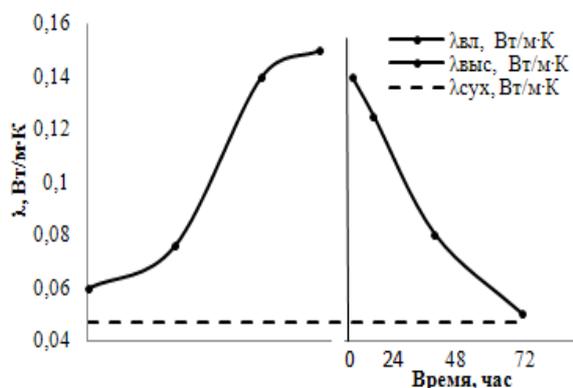


Рис 3. Результаты экспериментов в стадии увлажнения и высыхания пенополиуретана.

Анализ полученных результатов для пенополиуретана в стадии увлажнения и высыхания (рис. 3) показывает, что коэффициент теплопроводности пенополиуретана значительно изменяется при увлажнении, а при полном высыхании восстанавливает исходное значение.

Аналогичные зависимости получены и для образца пеностекла (рис. 4).

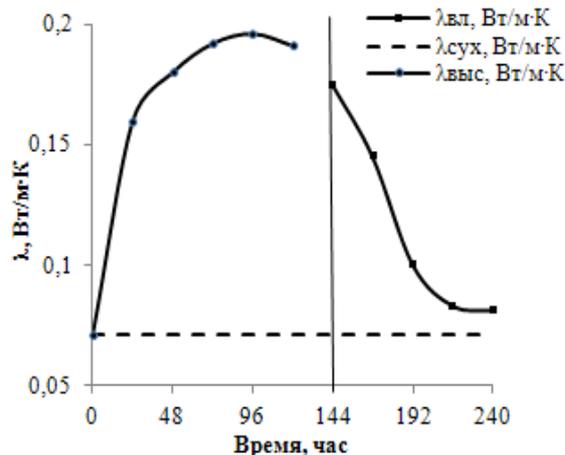


Рис. 4. Изменение величины коэффициента теплопроводности пеностекла

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

- при увлажнении всех теплоизоляционных материалов происходит увеличение коэффициента их теплопроводности, а, следовательно, и увеличение тепловых потерь;
- образец из базальтовой ваты не восстанавливает свои теплофизические свойства при полном высыхании;
- повышение уровня затопления образца пенополиуретана приводит к увеличению коэффициента теплопроводности, а при высыхании он восстанавливает свои теплофизические свойства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бухин В.Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем централизованного теплоснабжения. М.: Теплоэнергетика. – № 4.– 2002. – С. 24-29.
2. Зеликсон Н.М., Шпеер М.Г. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей.- М.: Госэнергоиздат, 1962. – С. 24 – 25.
3. Воронина Ю.А., Немова Т.Н., Трофимов К.Д., Цветков Н.А., Влияние увлажнения теплоизоляции на тепловые потери в системах теплоснабжения.// Изв. вузов. Физика. - №12/2. – 2010. - С. 63-66.
4. Дмитрович, А.Д. Определение теплофизических свойств строительных материалов.– М.: Госстройиздат, 1963 – 203 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ТОПЛИВОМ

Воронцова Е.С., Дорохова У.В.

Научный руководитель: Тайлашева Т.С., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [helen\\_tomsk@rambler.ru](mailto:helen_tomsk@rambler.ru)

В настоящее время для эффективного функционирования любой электростанции одним из главных инструментов является организация правильной работы с топливом. А именно работа с поставщиками, учет качества и количества топлива, претензионная работа. К сожалению, не все предприятия уделяют достаточное внимание этому процессу, что негативно отражается их на финансово-экономическом и хозяйственном положении [1].

С появлением в России рыночной экономики многие предприятия, входившие ранее в единый технологический комплекс (в условиях плановой экономики), оказались в собственности различных хозяйствующих структур и относятся к разным видам собственности. Рыночная экономика предусматривает свободный выбор поставщиков сырья и покупателей продукции, то есть одна хозяйствующая структура стала занимать монопольное положение в качестве продавца определенного товара, а другая – также монопольное положение, но уже в качестве покупателя этого товара. На этом фоне стали появляться конкурирующие фирмы, компании, холдинги, которые гарантируют качество своей продукции, претендуя на львиную долю денежного оборота, но при этом не соблюдают условия правовой стороны вопроса. Что может привести к конфликту интересов как заказчика и поставщика, так и общественно-политических сторон [2].

Подобный конфликт существует, в частности между угольными компаниями, добывающими энергетические угли, и тепловыми электростанциями.

Монополизация рынков энергетических углей вызывает значительное беспокойство энергетиков, что обусловлено следующими причинами:

-зависимостью экономики ТЭС от эффективности топливообеспечения;

-отсутствием системы управления процессами топливообеспечения при высококонцентрированных рынках энергетических углей;

-ростом конкуренции между энергетическими рынками [2].

Если монополия поставщиков появилась с приходом рыночной экономики, то российский железнодорожный транспорт - исторически сложившаяся естественная монополия.

18 мая 2001 года Правительством Российской Федерации была утверждена «Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте». В целях конкуренции в 2007 году были созданы «дочки» ОАО «РЖД» - Первая и Вторая грузовые компании (ПГК и ВГК), а последующие годы «дочерних» обществ становилось все больше и больше. Значительная часть парка грузовых вагонов передана в частную собственность [3].

Реформирование железных дорог дало немало результатов, среди них есть и отрицательные. Таким образом, реформа РЖД вскрыла следующие проблемы поставки топлива:

-появление посредников (перевозчик, фрахтовый агент, экспедиторская фирма) между поставщиком и заказчиком, что осложняет процедуру учета топлива;

-отсутствие вагонов для транспортировки топлива у ОАО «РЖД»;

-превышение тарифов над государственными, более чем в три раза;

-высокая загруженность железнодорожных путей;

-простой вагонов, что приводит к большим затратам одной из сторон;

-вагоны не очищаются после транспортировки других видов товара;

-количество и качество топлива не соответствуют требованиям потребителей и нормативно-технической документации [4].

Важным аспектом в работе с топливом является учет его количества и качества при поступлении на электростанцию. К сожалению, на большинстве ТЭС отсутствуют надежные технические средства для проведения входного контроля, химические лаборатории не сертифицированы для использования результатов входного контроля для проведения претензионной работы, а также не налажена система взаимодействия между приемщиками топлива и юридическим отделом станции. Отсюда организация качественной претензионной работы ограничена.

Нормативно-техническая документация, являясь основой в работе с топливом, не соответствует современным условиям процесса топливообеспечения, так как разрабатывалась в рамках плановой экономики и отдельные положения уже устарели. К тому же, персонал самих предприятий не применяет данные документы в своей работе.

Для правильной организации работы с твердым топливом необходимо:

1. Соблюдение договора поставки заинтересованными сторонами. Договор включает в себя обязательства сторон, цену и порядок расчетов по договору, порядок сдачи-приема товара, качество товара, ответственность сторон, форс-мажор, особые условия, срок действия договора, приложения (спецификация, акт сдачи-приема товара, график поставки), адреса и реквизиты сторон.

2. Соблюдение правил перевозки и безопасности при транспортировке топлива. Согласно РД 15-217-98 управления и отделения железных дорог, транспортные компании, крупные предприятия, фирмы и другие организации, занимающиеся или участвующие в процессе перевозки опасных гру-

зов подвергаются комплексному, целевому или оперативному обследованию [5].

3. Соблюдение НТД:

-при приемке топлива по количеству и качеству [7,8];

-при входном контроле качества [9];

-по учету топлива [6];

-по его инвентаризации [10];

-по хранению [11];

-по отбору проб [12] пробоотборниками [13].

4. Ведение претензионной работы (РД 34.09.105-96) при несоответствии качества топлива стандартам, требованиям договора на поставку топлива или показателям, приведенным в сопроводительных документах, а также при недостатке топлива по количеству [6].

Если сегодня усовершенствовать законодательную и нормативно-правовую документацию, которая максимально бы учитывала особенность топливообеспечения каждой ТЭС; разработать эффективные методы урегулирования различных конфликтных ситуаций между поставщиком и заказчиком, в первую очередь, при заключении договоров на поставку угля, а так же при последующей претензионной работе, в случае несоблюдения договора одной из сторон; а также исключить злоупотребление и нечестную конкуренцию на топливном рынке энергетических углей и между железнодорожными компаниями, включить в перевозку по госрасценкам оплату простоя вагонов, установленную специальным тарифным руководством, тогда перевозки станут выгодными для частных компаний, и мы сможем добиться больших результатов, которые положительно отразятся на всей энергетике нашей страны [2].

Аспекты, рассмотренные в настоящей статье, способствуют созданию реального инструмента, позволяющего наладить механизм, в котором все его составляющие элементы могли бы работать в соответствии стандартам и потребностям всей системы.

#### Список литературы:

1. Рекомендации по совершенствованию претензионной работы по топливу на ТЭС РАО «ЕЭС России» / С.Ю. Ремес, В.И. Эдельман, Е.Р. Говсиевич, Р.Е. Алешинский – Энергетик №10, 2006.
2. Проблемы монополизма поставщиков твердого топлива на рынках энергетических углей / И.С. Кожуховский, В.И. Эдельман, Е.Р. Говсиевич, О.Д. Селиверстова, Р.Е. Алешинский – Теплоэнергетика №5, 2006.
3. Российские железные дороги (электронный ресурс) / Реформа отрасли / Доступ к ресурсу: <http://rzd.ru/>
4. Ежедневная деловая газета «РБК daily» / ФАС завела дело в отношении РЖД и «дочек» монополии / Доступ к ресурсу: <http://www.rbcdaily.ru/>
5. РД 15-217-98. Методические рекомендации по проведению обследований подконтрольных предприятий и объектов при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом.
6. РД 34.09.105-96. Методические указания по организации учета топлива на тепловых электростанциях.
7. П-6. Инструкция о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления по количеству.
8. П-7. Инструкция о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления по качеству.
9. РД 34.44.205-89. Методические указания по входному контролю качества твердого топлива, поступающего на электростанции с использованием механических пробоотборников.
10. РД 34.09.107. Методические указания по инвентаризации угля и горючих сланцев на электростанциях.
11. РД 34.44.101-96. Типовая инструкция по хранению углей, горючих сланцев и фрезерного торфа на открытых складах электростанций.
12. ГОСТ 10742-71. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний.
13. РД 34.23.504-87. Типовая инструкция по эксплуатации пробоотборников и разделочных машин твердого топлива на электростанциях.

## АНАЛИЗ МАСШТАБОВ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ РАЗОГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ НА УСЛОВИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ЗАЖИГАНИИ ТВЕРДОГО КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА

Глушков Д.О.

Научный руководитель: Стрижак П.А., д.ф.-м.н., доцент  
 Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
 E-mail: [dmitriyog@tpu.ru](mailto:dmitriyog@tpu.ru)

Достаточно часто при протекании высокотемпературных технологических процессов формируются гетерогенные потоки, содержащие помимо горячих газов нагретые до высоких температур твердые или жидкие частицы конденсированной фазы [1]. Такие процессы широко распространены в различных технических системах (ракетная техника, теплоэнергетика, машиностроение, химическая промышленность, строительство). Техногенные и природные процессы (взрывы, пожары) также приводят к образованию высокотемпературных локальных источников энергии. Анализ показал, что закономерности взаимодействия таких частиц, имеющих различную форму и энергетический запас, с широко распространенными твердыми, жидкими, гелеобразными и пастообразными конденсированными веществами несколько отличаются.

В данной работе выполнено моделирование процессов теплопереноса в системе «стальная частица – конденсированное вещество – газ» при твердофазном зажигании конденсированного вещества (КВ). В зависимости от формы источника энергии схема области решения имеет вид, представленный на рисунке 1.

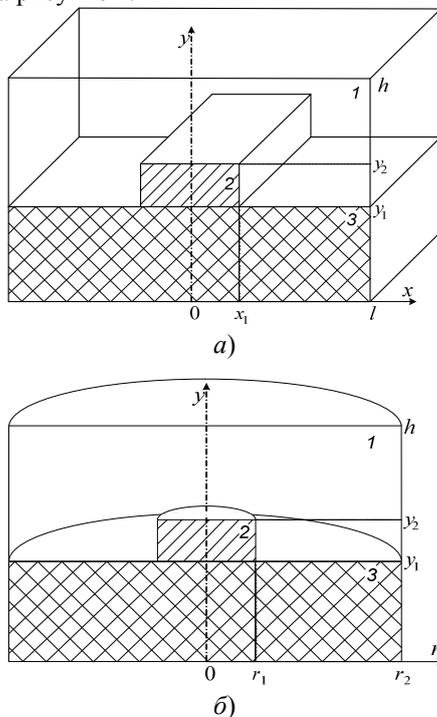


Рис. 1. Схема области решения задачи с частицей в форме параллелепипеда (а); цилиндрического диска (б): 1 – газ, 2 – частица, 3 – КВ

Особенность задачи теплопереноса состоит в том, что уравнения переноса тепла для газовой смеси и уравнения энергии для КВ решались в декартовых координатах, а уравнения теплопроводности для источника тепла в зависимости от его формы имели следующий вид ( $0 < t < t_d$ ): параллелепипед неограниченной длины (рис. 1, а) при  $0 < x < x_1, y_1 < y < y_2$ :

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right);$$

цилиндрический диск (рис. 1, б) при  $0 < r < r_1, y_1 < y < y_2$ :

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right).$$

Начальные и граничные условия при решении системы уравнений, описывающих комплекс процессов теплопереноса в малой окрестности источника нагрева, принимались аналогично общей постановке, приведенной в работе [2].

При численном моделировании использовались следующие значения параметров [3–5]: начальные температуры газа и КВ  $T_0=300$  К, частицы  $T_p=1000 \div 1700$  К; тепловой эффект экзотермической реакции  $Q_0=3,298 \cdot 10^3$  кДж/кг; энергия активации  $E=49,812$  кДж/моль; предэкспонент  $k_0=10^6$  с<sup>-1</sup>; размеры области решения  $l=r_2=10$  мм,  $h=20$  мм. Теплофизические характеристики газа, стальной частицы, КВ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Теплофизические характеристики

Компонент	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , Дж/(кг·К)
1	0,026	1,161	1190
2	36	8100	545
3	0,5	1800	1500

В рассматриваемых системах зажигания твердых КВ источниками нагрева малых размеров в форме параллелепипеда неограниченной длины (рис. 1, а) и цилиндрического диска (рис. 1, б) с изменением конфигурации частицы меняются площади контакта источника с воспламеняемым веществом. Это приводит к некоторым отклонениям времен  $t_d$  для частиц различной формы (таблица 2).

По данным таблицы 2 видно, что значения  $t_d$  в системе «стальная частица – КВ – газ» для источников нагрева с различной конфигурацией существенно отличаются в области малых размеров ( $l_p < 2,5$  мм,  $r_p < 2,5$  мм).

Таблица 2. Времена задержки зажигания в системе «стальная частица – КВ – газ» в зависимости от размеров и формы частицы при  $T_p=1300$  К

Параллелепипед (рис. 1, а)						
$l_p$ , мм	3	2,75	2,5	$\frac{2,2}{5}$	2	1,75
$h_p$ , мм	3	2,75	2,5	$\frac{2,2}{5}$	2	1,75
$t_d$ , с	0,3	0,303	0,309	0,314	0,323	0,331
Цилиндрический диск (рис. 1, б)						
$r_p$ , мм	3	2,75	2,5	$\frac{2,2}{5}$	2	1,75
$h_p$ , мм	3	2,75	2,5	$\frac{2,2}{5}$	2	1,75
$t_d$ , с	0,314	0,322	0,338	0,355	0,394	0,426

Следует отметить, что отклонения  $t_d$  для частиц в форме параллелепипеда и диска с одинаковыми размерами (таблица 2) вызваны неравенством площадей контакта частицы с КВ. В данном случае при решении плоских задач теплопереноса это неравенство обусловлено неограниченностью размеров частицы в форме параллелепипеда (рис. 1, а) по третьей координате и фиксированными аналогичными размерами частицы в форме диска (рис. 1, б).

При увеличении размеров частиц влияние их конфигурации становится не таким масштабным, как в случае  $l_p < 2,5$  мм и  $r_p < 2,5$  мм. Этот результат можно объяснить тем, что при увеличении размеров источника нагрева увеличивается аккумулированная энергия источника, передаваемая КВ. В таких условиях при близких площадях контакта источников ограниченной энергоемкости различной конфигурации с веществом изменение  $t_d$  не является масштабным (таблица 2). Например, при  $l_p = h_p = 2,5$  мм для частицы в форме параллелепипеда  $t_d = 0,3$  с. Отклонение от аналогичных параметров для частицы в форме диска (рис. 1, б) с  $r_p = h_p = 2,5$  мм составляет 4,5 %.

Установлено, что основным параметром, определяющим характеристики источника нагрева в системе «разогретая частица с конечным энергетическим запасом – КВ – газ», является начальная температура частицы  $T_p$ . В связи с этим наибольший интерес представляет исследование масштабов влияния  $T_p$  на отклонения  $t_d$ , приведенные на рисунке 2, для частиц различной конфигурации.

При относительно невысоких начальных температурах источника нагрева ( $T_p < 1300$  К) значения  $t_d$  для частиц в форме параллелепипеда и диска существенно отличаются (рис. 2). Это вызвано тем, что стадия прогрева вещества при  $T_p < 1300$  К играет главную роль в общем комплекспроцессов теплопереноса в малой окрестности источника нагрева. Тела в форме диска быстрее остывают по сравнению с параллелепипедами, размер которых не ограничен по третьей координате.

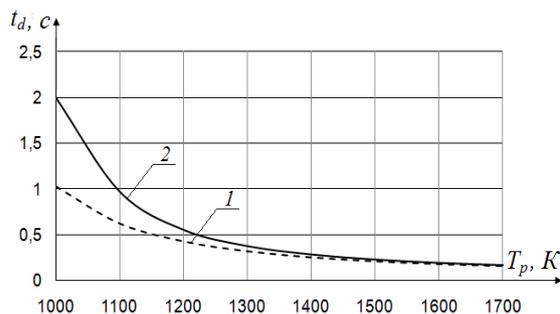


Рис. 2. Зависимость времени задержки зажигания от начальной температуры стальной частицы при  $l_p = r_p = 2,5$  мм,  $h_p = 2$  мм:

1 – система, представленная на рис. 1, а,  
2 – система, представленная на рис. 1, б

Однако, при повышении  $T_p$  увеличивается энергетический запас источников нагрева различной конфигурации. В таких условиях прогрев твердого КВ реализуется быстрее и уменьшается влияние этой стадии на значения времен задержки зажигания (рис. 2). Очевидно, что при больших размерах ( $l_p \gg 2,5$  мм) и высоких начальных температурах ( $T_p > 1300$  К) частиц условия воспламенения в системе «разогретая частица – КВ – газ» будут реализовываться при значительно меньших  $t_d$  по сравнению с представленными на рисунке 2 и влияние конфигурации источника нагрева будет несущественным.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-620.2012.8).

#### Список литературы:

1. Грипас С.А., Скобелев С.А., Денисенко В.В. Пожарная опасность производственных процессов: сборник официальных материалов и рекомендаций. – Киев: Техника, 1980. – 245 с.
2. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Численное моделирование твердофазного зажигания металлизированного конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Химическая физика. – 2011. – № 12. – С. 35–41.
3. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975. – Т. 1. – 743 с.
4. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975. – Т. 2. – 896 с.
5. Цуцуран В.И., Петрухин Н.В., Гусев С.А. Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив. – М.: МО РФ, 1999. – 332 с.

## АНАЛИЗ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ АВИАЦИОННОЙ СКВ

Горбачев М.В.

Новосибирский государственный технический университет,  
 630092, Россия, Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

E-mail: [GorbachevMV@ngs.ru](mailto:GorbachevMV@ngs.ru)

Авиационная система кондиционирования воздуха (СКВ) предназначена для создания комфортных микроклиматических условий [1, 3] в гермокабине (ГК) экипажа и пассажирских салонах на всех этапах полета. СКВ обеспечивает:

- отбор и подготовку воздуха от двигателей силовой установки;
- автоматическое регулирование давления, температуры и газового состава воздуха в ГК.

В данной работе для анализа эффективности работы СКВ применяется метод анализа термодинамических циклов. В настоящее время в известной литературе имеется ряд работ по анализу обратного цикла воздушно-холодильной машины в составе авиационной системы кондиционирования воздуха (АВВХМ). Анализ реальных циклов и всей СКВ в целом в настоящее время отсутствует.

На рис. 1 приведена расчетная схема системы кондиционирования воздуха, которая составлена на основе принципиальной. Данная схема практически реализована на самолете Ту-154 [2, 4, 5] и его модификациях. В нее внесены основные магистрали и агрегаты, а также важнейшие линии перепуска рабочего воздуха. Полученная в итоге расчетная схема является основной для разработки алгоритма расчета и на ней целесообразнее всего моделировать основные расчетные режимы работы СКВ. При получении расчетной модели в схеме были выделены узловые точки (пронумерованы) – это сечения между агрегатами СКВ.

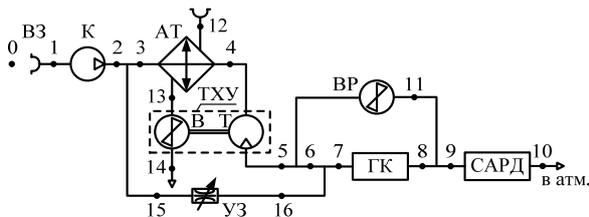


Рис. 1. Расчетная схема СКВ:

- ВЗ – воздухозаборник; К – компрессор силовой установки; АТ – атмосферный теплообменник;
- УЗ – управляющая заслонка; ГК – гермокабина;
- ВР – вентилятор рециркуляционной линии;
- ТХУ – турбохолодильная установка; В – вентилятор; Т – турбина; САРД – система автоматического регулирования давления

Математическая модель составлена на основе расчетной схемы и включает в себя систему уравнений баланса энергии, массовых балансов теплоносителей и расходов, баланса гидравлических потерь. Реальность характеристик учитывается с помощью внутренних к.п.д. и гидравлических сопротивлений соответствующих агрегатов. Достоверность разработанной программы подтверждается внешней непротиворечивостью, гладкостью

полученных графических зависимостей и общей схожестью с теоретическими зависимостями. Математическая модель ориентирована на расчет стационарных режимов работы и позволяет: рассчитать значения основных параметров рабочего воздуха (температура, давление, расход) по тракту СКВ.

Созданная математическая модель может быть использована: для проведения термодинамического анализа реальных циклов подсистем СКВ; для рассмотрения влияния исходных параметров на термодинамическую эффективность реальных циклов; для установления путей увеличения термодинамической эффективности действительных циклов, реализуемых в СКВ.

В реальных условиях работы любой системы всегда имеются необратимые потери, в результате которых процессы цикла являются необратимыми. Все необратимые потери подразделяются на внутренние и внешние [2-4]. Внутренние связаны с необратимостью процессов, протекающих внутри системы (процессы: трения в потоке рабочего тела, дросселирования, фазовых переходов, смешения потоков и т.д.). Внешние связаны с условиями сопряжения с окружающей средой, источниками и приемниками энергии, находящимися в ней. Независимо от вида, все необратимые потери приводят к увеличению работы, затраченной в цикле, а процессы протекают с увеличением энтропии.

Выражение для оценки практического холодильного коэффициента действительного цикла АВВХМ в общем случае имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{дд}}^{\text{А}} = Q^{\text{А}} / L_{\text{С}}; \quad (1)$$

где:  $L_{\text{С}}$  – работа, затраченная на реализацию цикла [2-4].

Полная холодопроизводительность действительного цикла АВВХМ:

$$Q^{\text{А}} = Q_{\text{дтo}}^{\text{А}} + Q_{\text{дтaе}}^{\text{А}} + Q_{\text{АЕ}}^{\text{А}} = c_p G^{\text{А}} (T_6 - T_5) + c_p G^{\text{А}} (T_7 - T_6) + c_p G^{\text{А}} (T_8 - T_7)$$

где  $G^{\text{А}}$  – расход рабочего воздуха через подсистему охлаждения;  $c_p$  – изобарная теплоемкость воздуха.

Удельная холодопроизводительность реального цикла АВВХМ:

$$q^{\text{А}} = q_{\text{дтo}}^{\text{А}} + q_{\text{дтaе}}^{\text{А}} + q_{\text{АЕ}}^{\text{А}} = Q^{\text{А}} / G^{\text{А}}$$

Практический холодильный коэффициент (зависимость (1)) характеризуют степень термодинамической эффективности реального цикла авиационной воздушно-холодильной машины с точки зрения энергетического баланса (первое начало термодинамики).

В работе [2] получено выражение для оценки практического холодильного коэффициента идеализированного (теоретического) цикла АБВХМ в виде:

$$\varepsilon_{\text{дд}}^{\text{н}} = \frac{T_{\text{АЭ}} - (T_0 + Z\omega^2) \left( \frac{P_{\text{Э}}}{P_{\text{АЭ}}} \right)^{\frac{1-k}{k}}}{T_0 \left[ \left( \frac{P_{\text{Э}}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad (2)$$

На рис. 2 представлены графические зависимости влияния давления за компрессором силовой установки на практический холодильный коэффициент теоретического (1) и действительного (2) циклов АБВХМ. Сравнительный анализ показал качественную схожесть графических зависимостей, что подтверждает адекватность разработанной математической модели действительных циклов. Количественные расхождения можно объяснить тем, что в модели идеального цикла не учитываются внутренние и внешние необратимые потери, а также неравенство массовых расходов рабочего воздуха по тракту охлаждения.

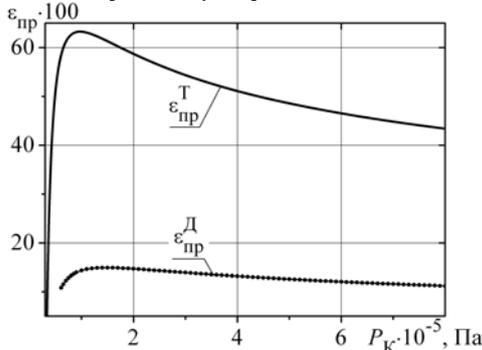


Рис. 2. Сравнительный анализ действительного и теоретического циклов АБВХМ

Рассмотрим влияние на термодинамическую эффективность цикла АБВХМ основного режимного параметра – давления цикла  $P_{\text{Э}}$ . Этот вопрос представляет наибольший интерес, так как давление для всех циклов является оптимизационным параметром [2-4]. На рис. 3 показан характер влияния давления цикла и термодинамической температуры атмосферного воздуха на термодинамическую эффективность цикла АБВХМ.

Из приведенных графических данных следует, что зависимость термодинамической эффективности цикла АБВХМ от давления цикла имеет явно выраженный максимум (выделены условными значками). Следовательно, имеется оптимальный режим работы всей СКВ от давления за компрессором силовой установки.

Влияние температуры атмосферного воздуха выражается в уменьшении величины холодильно-

го коэффициента действительного цикла АБВХМ при увеличении  $T_0$ .

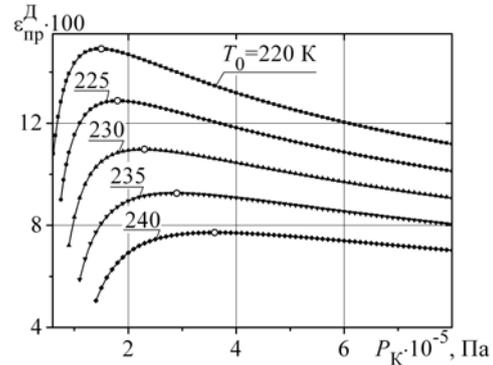


Рис. 3. Влияние исходных параметров на термодинамическую эффективность действительного цикла АБВХМ

### Заключение

В работе разработана методика численного моделирования авиационной системы кондиционирования воздуха на примере самолета Ту-154. Разработана методика комплексного анализа реальных термодинамических циклов АБВХМ с позиций первого закона термодинамики. Данная методика позволяет на основе схемного построения и термодинамического цикла создать математическую модель и выполнить ее анализ. Представление моделей реальных термодинамических циклов позволяет выполнить комплексный анализ термодинамической эффективности и предложить пути ее увеличения.

### Список литературы:

- [1] Авиационные Правила. Ч. 25. “Нормы летной годности самолетов транспортной авиации”. – М.: Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова, 1994. – 45 с.
- [2] Горбачев М.В. Оценка эффективности цикла воздушно-холодильной машины в составе авиационной СКВ с помощью "метода циклов" // Научный вестник НГТУ. 2010. №1(42). С.105-116.
- [3] Дьяченко Ю.В. Исследование термодинамических циклов воздушно-холодильных машин: монография / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006 – 404 с.
- [4] Дьяченко Ю.В., Горбачев М.В., Пашенко Н.И. Термодинамика циклов авиационных систем кондиционирования воздуха / Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2011. – 240 с.
- [5] Дьяченко Ю.В., Спарин В.А., Чичиндаев А.В. Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, (серия “Учебник НГТУ”), 2003. – 512с.

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВАКУУМНОЙ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Горешнев М.А., Шишков И.В.

Научный руководитель Секисов Ф.Г., к.т.н., с.н.с.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [goreshnev@tpu.ru](mailto:goreshnev@tpu.ru)

Вакуумная сушка материалов позволяет снизить время и энергозатраты. Это достигается за счёт уменьшения температуры кипения воды. На основе этого были созданы различные технологии вакуумной сушки древесины: пресс-вакуумная, импульсная, кондуктивная, конвективная, СВЧ сушка при пониженном давлении. В основном, при вакуумной сушке добиваются снижения давления в камере  $50 \div 70$  мм.рт.ст. ( $8 \div 10$  кПа), что соответствует температуре кипения  $40 \div 50$  °С. Так как температура нагрева древесины при сушке обычно выше указанной температуры, то в порах древесины должно создаваться избыточное давление, которое влияет на движение влаги. Исследования изменения внутреннего давления пара в древесине проводились ранее при атмосферном давлении [1]. При разряжении экспериментально внутреннее давление паров определялось только на небольших образцах [2,3.] и для СВЧ нагрева [4].

Целью данной работы является исследование динамики изменения избыточного внутреннего давления при кондуктивной вакуумной сушке.

Исследование проводилось в цилиндрической вакуумной камере, объёмом  $3 \text{ м}^3$ , с водяным охлаждением. Измерения влажности и температуры проводились стационарным кондуктометрическим влагомером СВД-04, включающим в себя 5 датчиков влажности, 2 датчика температуры. Пределы измерения влажности  $5 \div 93$  % и температуры  $0 \div 100$  °С. Внутреннее избыточное давление в древесине регистрировалось пьезоэлектрическими датчиками давления 40РС015G2А. Датчик давления устанавливался в просверленное отверстие диаметром 4 мм сбоку доски через пластиковую трубку на глубину 40 мм. Герметичность соединений датчика давления с переходной трубкой в древесине обеспечивалась с помощью силиконового герметика. Регистрация показаний датчика осуществлялась с помощью электронного самописца. Схема расположения датчиков температуры, влажности и давления представлена на рис. 1.

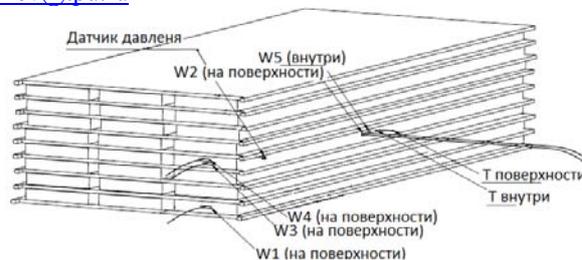


Рисунок 1. Схема расположения датчиков влажности, температуры и давления.

Исследования проводились на объёмно пропитанной древесине берёзы [4] размером  $50 \times (150-300) \times 3000$  мм  $0,9 \text{ м}^3$ . Средняя исходная влажность объёмно пропитанной древесины составляла  $110 \div 120$  %.

В начале сушки пиломатериал прогревался до температуры  $60$  °С при атмосферном давлении в течении 4 часов. Температура теплоносителя в нагревателях была  $68 \pm 2$  °С. После прогрева древесины камера вакуумировалась до давления  $15 \pm 3$  кПа. Сушка длилась 120 часов. Общие тепловые затраты на сушку составили  $575 \text{ кВт} \times \text{ч}$ . Конечная влажность составила  $10 \div 18$  %.

Графики изменения влажности и температуры во время сушки представлены на рис.2. Так как влажность древесины выше предела измерения влагомера (93 %), наблюдается прямая линия при этом значении.

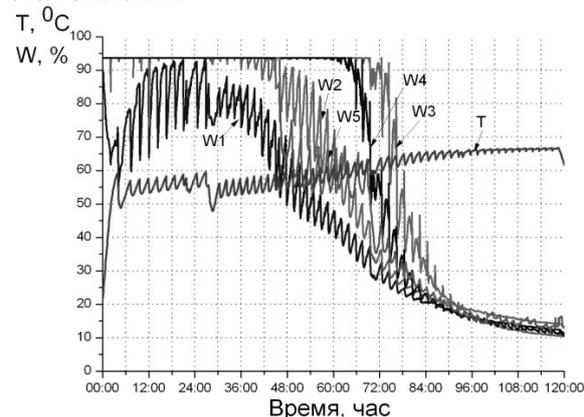


Рис.2. Зависимость влажности и температуры древесины от времени сушки.

На рис. 3 представлено изменение внутреннего давления в древесине, а также графики зависимости давления в камере, средней влажности и температуры от времени.

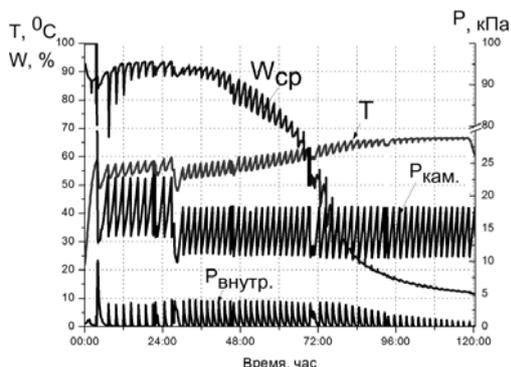


Рисунок 3. Зависимость средней влажности, температуры, давления в камере и избыточного внутреннего давления в древесине от времени сушки. При начальной откачке воздуха происходит резкое повышение избыточного внутреннего давления до 10 кПа, а затем его снижение (рис. 4). Данное явление объясняется тем, что в объёмно пропитанной древесине находится много свободной воды, которая вскипает при вакуумировании, следовательно создаёт избыточное давление. На графиках влажности, температуры и внутреннего давления модифицированной древесины наблюдаются пульсации в процессе сушки (рис. 3). Это объясняется тем, что давление в камере не постоянно, а поддерживается в заданных пределах, по достижению максимального давления в камере происходит откачка до заданного минимального уровня. При откачке воздуха из камеры увеличивается внутреннее давление, снижается температура, а также повышается влажность на торце заготовки  $W_4$  и снижается в объёме  $W_5$  (рис. 4). Затем влажность на торце снижается вследствие интенсивного испарения. Влажность на боковой поверхности доски ( $W_2$ ), не повышается из-за меньшей влагопроводности клеток в радиальном направлении по сравнению с влагопроводностью вдоль волокон. На боковой поверхности влажность также снижается вследствие испарения.

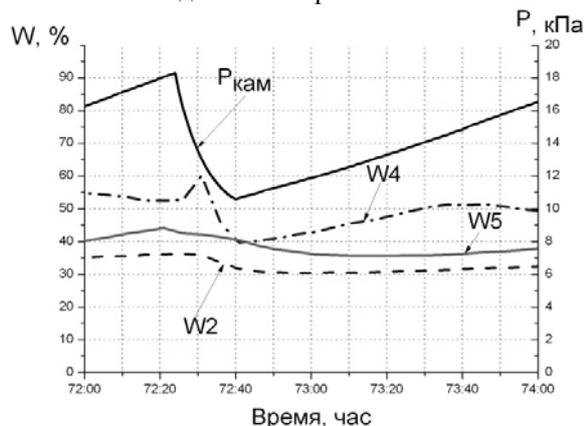


Рисунок 4. Зависимость давления в камере, влажности на торце внутренней части и боковой поверхности доски от времени сушки.

Максимальное значение избыточного давления постоянного находится в пределах 5 кПа, но при достижении средней влажности древесины порядка 30% оно начинает снижаться. Данное явление можно объяснить тем, что при влажности выше 30% жидкость в древесине находится в свободной состоянии, а ниже этого предела - в связанном. Поэтому, наибольшая скорость испарения, а соответственно и внутреннее давление при влажности выше 30% имеют максимальное значение, и не меняются до достижения влажности ниже предела насыщения клеточных стенок. Это говорит о том, что скорость испарения постоянна. При влажности ниже насыщения клеточных стенок скорость испарения падает, что можно видеть по снижению избыточного давления. Пульсации влажности и температуры образца также снижаются вследствие отсутствия свободной воды. Температура образца повышается и приближается к температуре термоэлементов. Это говорит о том, что избыточное внутреннее давление в основном влияет не перенос свободной влаги в древесине, то есть при влажности выше 30%.

Таким образом, проведённое исследование показывает влияние избыточного внутреннего давления на влагоперенос в объёмно пропитанной древесине берёзы. Определены значения внутреннего избыточного давления на протяжении всего процесса и динамика изменения, возникающего при вакуумной кондуктивной сушке объёмно пропитанной древесины.

#### Литература:

1. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесн. промышленность, 1990.- 336 с.
2. Patrick Perre. Drying with Internal Vaporization :Introducing the Concept of Identity Drying Card // Drying Technology.-1995.-№13 P. 1077-1097.
3. Сафин Р.Г., Сафин Р.Р. Лашков В.А., Голубев Л.Г. Вакуум-осциллирующая сушка пиломатериалов в среде перегретого пара. - М.: Лесной вестник, №2, 2002.- с. 175-179
4. Koumoutsakos A., Avramidis S., radio frequency vacuum drying of wood. II. Experimental model evaluation. Drying Technology.- 19 (1).- 2001 –P. 85-98
5. Секисов, Ф.Г. Объёмная пропитка древесины берёзы /Ф.Г. Секисов, О.В., Смердов, А.Н. Казарин, Ли Хунда, В.С. Веснин, М.А. Горешнев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – №1. – С. 158–164.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОЭМИССИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ

Гренадёр А.С., Соловьев А.В., Работкин С.В.

Научный руководитель: Работкин С.В., к.т.н.

Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3

E-mail: [1711Saha@mail.ru](mailto:1711Saha@mail.ru)

### Введение

Для удовлетворения энергетических потребностей человечество использует невозобновляемые ресурсы, запасы которых быстро истощаются, в то время как потребность в этих ресурсах возрастает. Поэтому экономия энергоресурсов для большинства стран становится одной из самых центральных задач. Экономия тепловой энергии позволяет уменьшить расход тепла на обогрев зданий и сооружений.

Установлено, что в тепловом балансе жилых зданий и промышленных объектов до 40 % потерь приходится на утечку тепла через прозрачные ограждающие конструкции (окна, балконы, витрины и т.д.), площадь которых составляет около 30% от общей площади зданий и сооружений, причем более половины из этих потерь приходится на тепловое излучение [1].

Для того чтобы снизить потери тепла за счет теплового излучения используют прозрачные подложки (стекла, полимерные пленки и т.д.) с низкоэмиссионными покрытиями. Полученная структура низкоэмиссионного покрытия со светопрозрачным материалом должна обладать следующими критериями: высокой прозрачностью ( $T > 80\%$ ) в видимом диапазоне ( $\lambda = 350\div 700$  нм), высоким коэффициентом отражения ( $R \approx 90\%$ ) в инфракрасном (тепловом) диапазоне ( $\lambda = 5\div 25$  мкм) и стабильностью к воздействию окружающей среды.

В институте сильноточной электроники СО РАН нами было получено покрытие на полимерной пленке со структурой  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}:\text{Ga}/\text{Ag}/\text{ZnO}:\text{Ga}/\text{TiO}_2$ . Эта структура обладает высокой прозрачностью в видимой области спектра (82 %) и высоким отражением в ИК области (93 %). Кроме того, структура обладает хорошей влагостойкостью [2].

### Результаты тепловизионного контроля

С целью определения эффективности использования разработанного покрытия был проведен тепловизионный контроль («Региональным центром управления энергосбережением» г.Томск) окна в деревянных отдельных переплетах с двойным остеклением (деревянное окно без низкоэмиссионной пленки и с ней). По результатам контроля можно судить о эффективности покрытия.

Тепловизионный контроль проводился с использованием прибора тепловизер TESTO 875-1 в два этапа: в отсутствие атмосферных осадков, при температуре воздуха  $-23,4^{\circ}\text{C}$  и в отсутствие атмосферных осадков, при температуре

$-15,7^{\circ}\text{C}$ , внутри и снаружи здания, где были установлены вышеописанные окна.

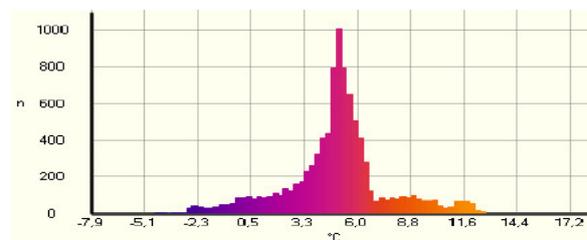


Рис. 1. Распределение температуры по поверхности деревянного окна без низкоэмиссионной пленки (внутри здания)

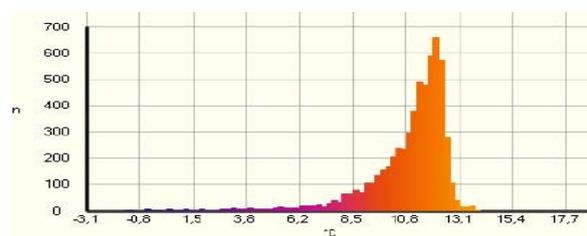


Рис. 2. Распределение температуры по поверхности деревянного окна с низкоэмиссионной пленкой (внутри здания)

На рисунках 1 и 2 приведены результаты распределения температуры по поверхности деревянного окна внутри здания при температуре снаружи здания  $-23,4^{\circ}\text{C}$ . Среднее значение температуры на поверхности деревянного окна без низкоэмиссионной пленки составляет около  $4,9^{\circ}\text{C}$ , а с низкоэмиссионной пленкой  $10,8^{\circ}\text{C}$ .

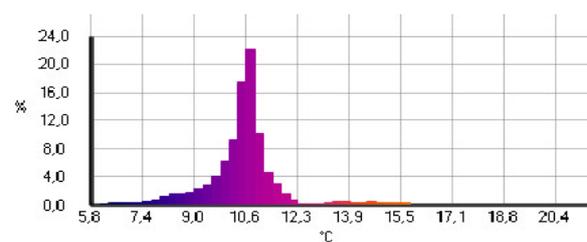


Рис. 3. Распределение температуры по поверхности деревянного окна без низкоэмиссионной пленки (внутри здания)

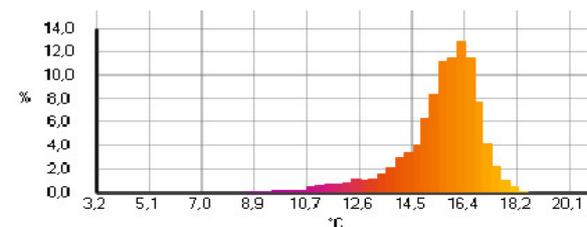


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности деревянного окна с низкоэмиссионной пленкой (внутри здания)

На рисунках 3 и 4 приведено распределение температуры по поверхности деревянного окна

внутри здания при температуре снаружи здания  $-15,7^{\circ}\text{C}$ . Среднее значение температуры на поверхности деревянного окна без низкоэмиссионной пленки составляет около  $10,5^{\circ}\text{C}$ , а с низкоэмиссионной пленкой  $15,5^{\circ}\text{C}$ .

Согласно результатам тепловизионного контроля, проведенным при разных температурах, можно сделать вывод о том, что деревянное окно с низкоэмиссионным покрытием пропускает меньше теплового излучения из помещения на улицу, чем деревянное окно без низкоэмиссионного покрытия.

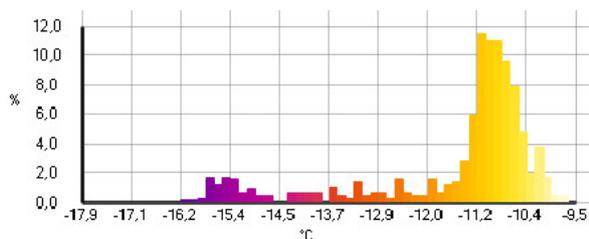


Рис. 5. Распределение температуры по поверхности деревянного окна без низкоэмиссионной пленки (снаружи здания)

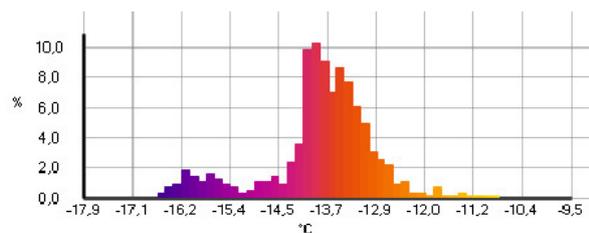


Рис. 6. Распределение температуры по поверхности деревянного окна с низкоэмиссионной пленкой (снаружи здания)

Результаты тепловизионного контроля деревянного окна снаружи здания без низкоэмиссионной пленки и с ней при температуре  $-15,7^{\circ}\text{C}$ , представлены на рисунках 5 и 6. Среднее значение температуры на поверхности деревянного окна снаружи здания без низкоэмиссионной пленки составляет около  $-11,6^{\circ}\text{C}$ , а с низкоэмиссионной пленкой  $-13,8^{\circ}\text{C}$ . Это свидетельствует о меньшей проходимости теплового излучения из помещения на улицу через деревянное окно с низкоэмиссионным покрытием, по сравнению с окном без низкоэмиссионного покрытия.

#### Расчет эффективности использования низкоэмиссионной пленки

Величина экономии тепловой энергии была определена из условия увеличения термического сопротивления окна за счет отражения теплового излучения при установке низкоэмиссионной пленки.

Согласно измеренным данным были рассчитаны: фактическое сопротивление теплопередаче, среднечасовые потери теплоты через  $1\text{ м}^2$  окна за отопительный период, экономия тепловой энергии

при установке низкоэмиссионной пленки на  $1\text{ м}^2$  окна. В таблице 1 представлены результаты полученных расчетов.

Таблица 1

#### Результаты расчетов

Наименование	Ед. измерения	Деревянное окно с низкоэмиссионным покрытием / без покрытия
фактическое сопротивление теплопередаче	$\frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$	0,76 / 0,40
фактический коэффициент теплопередачи	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	1,32 / 2,50
среднечасовые потери теплоты через $1\text{ м}^2$ окна за отопительный период	Вт	37,52 / 71,44
потери теплоты через $1\text{ м}^2$ окна за год	Гкал	0,2125 / 0,4047
экономия тепловой энергии при установке низкоэмиссионной пленки на $1\text{ м}^2$ окна	Гкал	0,1921
экономия тепловой энергии при установке низкоэмиссионной пленки на $1\text{ м}^2$ окна	руб.	192,4

#### Заключение

В результате тепловизионного контроля были получены результаты, судя по которым можно сделать следующие выводы:

- при установке низкоэмиссионной пленки на окно в два раза увеличивается сопротивление теплопередачи, соответственно, тепловые потери уменьшаются в два раза;
- установка низкоэмиссионной пленки позволяет сэкономить тепловую энергию на  $1\text{ м}^2$   $0,1921\text{ Гкал}$  за отопительный период, что соответствует  $192,4$  руб. в денежном эквиваленте.

#### Список литературы:

1. Баинов Д.Д., Кривоногов В.П., Легостаев В.Н. Оптимизация параметров плазменных теплоотражающих покрытий. – Известия Томского политехнического университета, 2004, т.307, №2.
2. А.Н. Захаров, Н.Ф. Ковшаров, К.В. Оскомов, С.В. Работкин, А.А. Соловьев, Н.С. Сочугов Полимерная пленка с низкоэмиссионным покрытием для снижения тепловых потерь через светопрозрачные конструкции. – Известия высших учебных заведений, 2011.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ СУПЕРПЕРЕГРЕВА И СУПЕРПРОМПЕРЕГРЕВА ПАРА

Дорохова Н.С., Калугин Б.Ф.

Научный руководитель: Калугин Б.Ф., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина,30

Е-mail: [zlata-8999@mail.ru](mailto:zlata-8999@mail.ru)

Атомные электрические станции (АЭС) с реакторами ВВЭР имеют низкий к.п.д. В [1] приведены таблицы, иллюстрирующие экономичность АЭС различных типов, из которых видно, что к.п.д. АЭС с ВВЭР лежит в пределах 32÷34 процента. Низкий к.п.д. этого типа станций объясняется низкими параметрами пара, диктуемое условиями возможности изготовления реакторов, давление воды в первом контуре которых лежит в пределах 15,5÷16МПа, при реакторах кипящего типа до 7МПа. ВВЭР- реакторы на тепловых нейтронах. Давление свежего пара перед турбиной 6,0÷6,5МПа. Чтобы получить электрическую мощность от 500МВт до 1000МВт, а в последнее время до 1200÷1500МВт расход пара на турбину должен быть большим. ( У турбоустановки К-1000-59,8/50 расход пара на турбину составляет 1747 кг/с [2]). Для обеспечения большого расхода пара в конденсатор при длине лопатки последней ступени цилиндра низкого давления (ЦНД) 1200мм., у этих турбин возникнет необходимость повысить давление в конденсаторе до 5,1кПа, при значительной скорости выхода пара из последней ступени ЦНД, что в целом также снижает к.п.д. турбины и к.п.д. всей АЭС.

В блоке с реакторами ВВЭР работают влажнопаровые турбины, у которых большинство ступеней работают в области влажного пара. Присутствие влаги уменьшает относительный внутренний к.п.д. ступеней. В [2] приведены графики, из которых видно, что при перегреве пара перед турбинной ступенью на 150°С относительный внутренний к.п.д. составляет 0,83, а при влажности пара перед ступенью 0,068- к.п.д. равен 0,755. Присутствие влаги в паре вызывает эрозийный износ лопаток и других деталей (например, при утечке пара в стыке паровых диафрагм возникает щелевая эрозия).

С целью изменения вредного влияния влаги у влажнопаровых турбин применяют внешнюю сепарацию и промперегрев паром (между цилиндрами высокого давления (ЦВД) и низкого давления (ЦНД)), также применяют так называемые сепараторопромперегреватели (СПП). Работа СПП вызывает различные претензии. В [3] приводятся данные о плохой работе сепараторов, за которыми влажность пара составляет величину до 2 процентов, что приводит к недовыработке электроэнергии от 27,3 до 40,6 млн. кВт/год.

На тепловых электростанциях (ТЭС), потребляющих органическое топливо, наблюдается тенденция к применению суперсверхкритических параметров пара [4], когда давление пара перед турбиной достигает 40МПа, а перегрев и перегрев

осуществляется до 700°С- 750°С, к.п.д. при этом свыше 50 процентов.

В данной работе делается оценка возможности повышения параметров перегрева пара и промперегрева. Это дает возможность уменьшить влияние влаги и повысит к.п.д. блоков с реакторами ВВЭР. Сравнивается четыре схемы: одна схема с серийными блоками с ВВЭР и влажнопаровыми турбинами, вторая- без сепаратора и промперегревателя с первичным перегревом пара до 700°С, третья- с первичным промперегревателем до 700°С и промперегрев до 720 °С, последняя схема с котлом, осуществляющим первичный и промежуточный перегрев пара.

На рисунке 1 приведена первая схема:

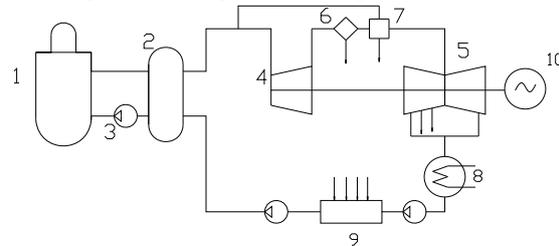


Рисунок 1 - 1-реактор ВВЭР,2-парогенератор, 3-главный циркуляционный насос первого контура, 4,5-цилиндры высокого и низкого давления,6-сепаратор,7-пароперегреватель,8-конденсатор,9-система регенерации низкого давления ,10-электрический генератор.

В расчетах была задействована турбоустановка К-1000-5,9/25. Давления пара перед турбоустановкой 5,9МПа, применяемый перегрев осуществляется до температуры 250°С. В результате при принятой мощности 1000МВт и расходе пара на турбину абсолютный электрический к.п.д. турбинной установки равен 0,3477.

Вторая принципиальная схема приведена на рисунке 2:

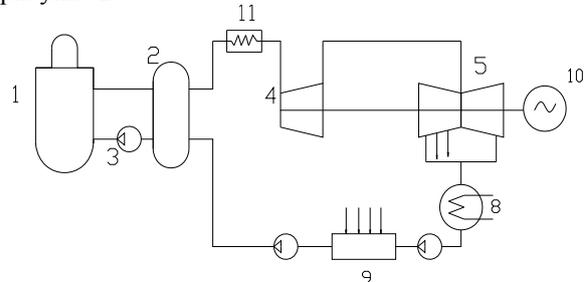


Рисунок 2 - 1,2,3,4,7,8,9,10- те же, что и на рис.1,11- пароперегреватель.

Обогрев пароперегревателя можно осуществить органическим топливом, а также газом, например, в газоохлаждаемом реакторе. Перегрев в

расчете принят  $700^{\circ}\text{C}$  (как в работе [4]). Расход пара из ПГ принят таким же, что и в первой схеме, причем параметры пара на выходе из ПГ приняты без изменений. Турбина работает на перегретом паре при отсутствии сепаратора и промперегревателя. Результаты расчета: мощность турбины составила  $1953 \cdot 10^3 \text{ кВт}$ , абсолютный электрический к.п.д. турбоустановки составляет 42 процента. Сравнивая расчеты, видно, что к.п.д. возрос и мощность ТУ возросла почти вдвое.

Увеличение мощности при одинаковых расходах пара турбоустановки способствует уменьшению затрат на сооружение устройств водоснабжения (водохранилища и градирни).

Третья принципиальная схема приведена на рисунке 3:

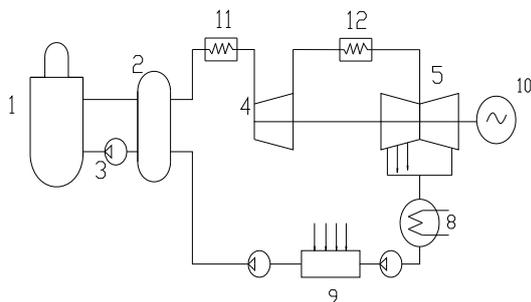


Рисунок 3 1,2,3,4,7,8,9,10,11- те же, что и на рис.1,12-промперегреватель.

В третью схему добавлен промперегреватель между цилиндрами низкого и высокого давления, который осуществляет перегрев пара до  $720^{\circ}\text{C}$ . Отличие последней схемы от предыдущей в том, что в паровом пространстве перегревателя и промперегревателя производится сжигание водорода. Электрический к.п.д. такой схемы составляет 47 процентов. Такое использование водорода дает по сравнению со схемой, показанной на рисунке 2, возрастание электрического к.п.д. на 5 процентов.

Четвертая принципиальная схема приведена на рисунке 4:

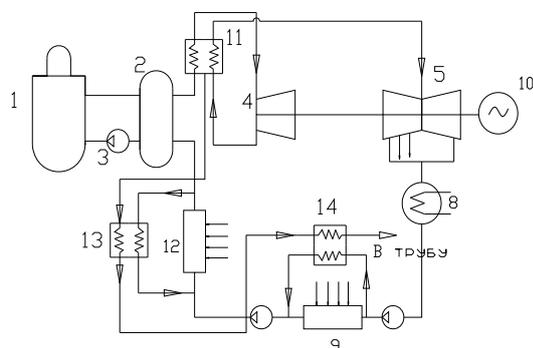


Рисунок 4 1,2,3,4,7,8,9,10 - те же, что и на рис.1,11-котел,12-ПВД,13,14-теплообменники первый и второй.

Последняя схема видоизменена: в нее введен котел, который заменяет промежуточные перегреватели, осуществляя первичный и вторичный перегрев пара до температуры  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $720^{\circ}\text{C}$ . Электрический к.п.д. такой схемы составляет порядка 48 процентов. По сравнению с предыдущей схемой электрический к.п.д. возрос на 1 процент, что является немаловажным моментом в вопросе экономичности станции.

В работе [5] приведены данные по опытной турбине, работающей при высоких температурах, т.е. видно, что авторы работы ведут исследования по применению различных материалов для сооружения высокотемпературных турбин, а также и по паропроводам. Правительством РФ выделено около 8-10 млрд. рублей на разработку материалов, которые будут использованы на сооружение блоков на суперсверхкритические параметры. Из сказанного следует, что данной области уделяется пристальное внимание.

В заключении следует отметить, что введение исследовательских работ по сооружению блока с ВВЭР и перегревом целесообразно.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Турбины для атомных электростанций/ Трояновский Б.М.-М.:Энергия,1978.-232с.
2. Паровые и газовые турбины атомных электростанций / Трояновский Б.М. и др.-М.:Энергоатомиздат,1985.-256с.
3. Давиденко Н.Н., Соломеев В.А. и др. Совершенствование технико-экономических показателей технологического оборудования действующих АЭС// - Теплоэнергетика.2008. №1. с.14-16.
4. Машкаров А.В., Алексеев Д.В., Полежаев А.В., Полежаев Д.В. Анализ параметров и тепловых схем энергоблоков на давление 40 МПа//Теплоэнергетика.-2005.№10.- с.24-27
5. Фаворский О.Н., Леонтьев А.И., Федоров В.А., Мильман О.О. Расчетно- экспериментальное обоснование создания угольно-водородной электростанции с высокотемпературными ( $800^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}$ ) паровыми турбинами. Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену,25-29 октября 2010, г.Москва, в 8 томах. Том 1,стр.63-68.

## НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ГТУ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Дьяченко А.С., Абдрафиков Е.Ш.

Научный руководитель: Долгих А.Ю., старший преподаватель

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: [ShuraD@tpu.ru](mailto:ShuraD@tpu.ru)

Повальное применение газотурбинных установок заставляет задумываться об их воздействии на природу и человека. Существует несколько характерных аспектов влияния ГТУ на окружающую среду, такие как вибрация, вредные выбросы, шум. Наиболее радикально влияющим фактором ГТУ является шумовое воздействие. Уровень шума промышленных объектов обусловлен, как правило, совместным шумовым воздействием нескольких источников, расположенных на территории промышленного объекта, технологического оборудования, компрессорных станций, гидравлических установок, дробилок, вентиляционных установок, обслуживающего транспорта и др. Одним из таких промышленных источников шумового воздействия являются газотурбинные электростанции и мобильные газотурбинные установки (ГТУ), используемые в качестве источников электро- и теплоснабжения в районах массовой жилой застройки, необеспеченных подключением к централизованным энергетическим установкам. При работе одной ГТУ-100 уровень звука превышает допустимые нормы на 15-17 дБА, а ГТУ-150 до 23 дБА на расстоянии 300-400 м при полном шумоглушении других путей распространения шума. Основными источниками шума от ГТУ являются всасывающий патрубок осевого компрессора, корпус газотурбинного агрегата, шахта выхлопа газотурбинного агрегата. Для борьбы с ними применяют различные методы глушения, например для уменьшения шума от осевого компрессора приходится настраивать работу ГТУ на такой режим, при котором компрессор издает более тихий и менее монотонный звук. Для уменьшения же общего шума корпус газотурбинного агрегата накрывают защитным кожухом. Но все же основную звуковую волну с собой несет шахта выхлопа ГТУ. Для решения этой проблемы необходимо проводить ряд защитных мер, в частности установка глушащих механизмов – глушителей. Выбор конструкции глушителя определяется необходимым его объемом, допускаемым гидравлическим сопротивлением и требуемым снижением шума. На рис. 1, 2 показаны характерные схемы шумоглушения, используемые в мировой практике для систем воздухозабора и для выхлопного газового тракта.

Для выхлопного тракта используют глушители, которые являются, как правило, различными комбинациями цилиндрических и кулисных глушителей. Например, на рис. 2, а показана схема шумоглушения выхлопного тракта

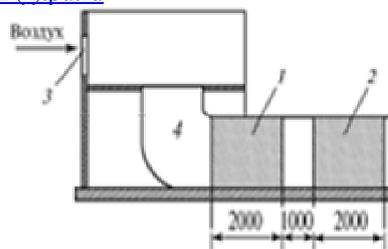


Рис. 1. Схема глушителя для воздушного тракта ГТ-100-750: 1 — ступень для снижения уровня шума низких частот; 2 — ступень для снижения уровня шума высоких частот; 3 — жалюзи; 4 — воздушный тракт

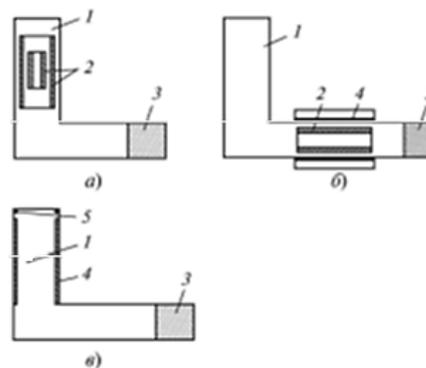
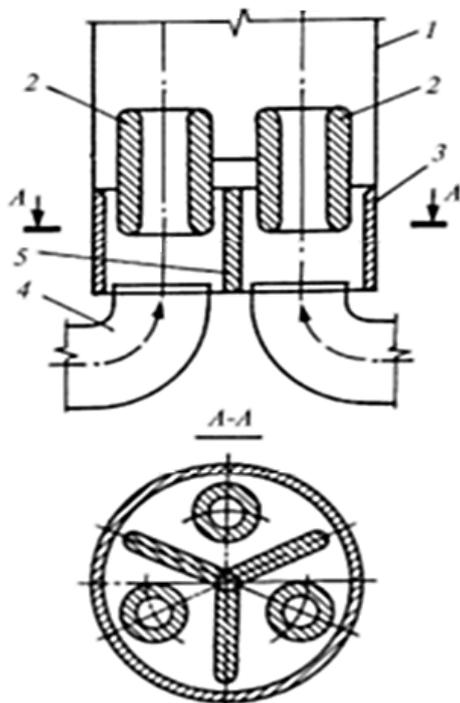


Рис.2. Глушители выхлопного тракта: а – комбинация цилиндрических глушителей; б – по принципу «антизвук»; 1 – дымовая труба; 2 – звукопоглощающие цилиндры; 3 – ГТУ; 4 – звукопоглощающая облицовка; 5 – громкоговорители системы «антизвук»

ГТУ фирмы «Броун-Бовери» мощностью 25 МВт. Глушитель имеет следующие размеры: длина большого цилиндра — 8300 мм, длина малого цилиндра — 3100 мм, а диаметры соответственно — 2700 и 950 мм. Толщина каждого кольца — 200 мм. Скорость потока между кольцами — 60 м/с, а сопротивление — 490 Па. На рис. 2, б показан глушитель газотурбинной установки мощностью 50 МВт. Габаритные размеры глушителя: длина облицованного участка — 17 м, диаметр звукопоглощающего цилиндра — 3,2 м. Аэродинамическое сопротивление — 490 Па при скорости потока 50 м/с. На рис. 2, в показан активный глушитель, работающий по принципу «антизвук» на газовой турбине мощностью 11 МВт. Эффективность этого глушителя составляет 10...13 дБ на низких частотах.

Для газовых турбин, выхлопные тракты которые подсоединены к одной дымовой трубе, целесообразно устанавливать один глушитель для всех газовых турбин в цокольной части дымовой трубы. На рис. 3 показано устройство глушителя для нижнего и бокового подвода газоходов в трубу. Здесь звуковая энергия гасится при попадании

на звукопоглощающий материал перегородок, на внутренней облицовке трубы и цилиндрах. Устройство имеет минимальное аэродинамическое сопротивление, которое обеспечивается оптимальным подбором высоты перегородки, размещением цилиндров со звукопоглощающим материалом и др. Из рис. 3 видно, что поток дымовых газов плавно расширяется проходя через конструкцию глушителя. Потери аэродинамического сопротивления стали меньше приблизительно на 20 Па, для газового тракта с таким подводом трех газоходов от ГТ-100-750 и глушителем, чем без него. Такого вида глушитель установлен на Ивановской ГРЭС.



**Рис. 3. Глушитель выхлопного тракта ГТУ при нижнем подводе газоходов в дымовую трубу:**

1 — дымовая труба; 2 — цилиндрический глушитель; 3 — звукопоглощающая облицовка; 4 — подводящий газоход; 5 — перегородка.

Также помимо шумового воздействия газотурбинные установки имеют еще ряд существенных недостатков. Это, прежде всего, необходимость предварительного сжатия газового топлива, что заметно удорожает производство энергии особенно для малых ГТУ и в ряде случаев является суще-

ственным препятствием на пути их внедрения в энергетику. Для современных ГТУ с высокими степенями сжатия воздуха, необходимое давление топливного газа может превышать 25-30 кг/см<sup>2</sup>.

Еще одним дополнительным существенным недостатком ГТУ является резкое падение КПД при снижении нагрузки. Срок службы ГТУ значительно меньше, чем у других энергетических установок и находится обычно в интервале 45-125 тыс. часов.

Но все же что так притягивает современную энергетику к газотурбинным установкам? Конечно же ГТУ имеет и ряд серьезных достоинств. Основными достоинствами газотурбинной установки является ее высокая электрическая и тепловая экономичность, достигаемая за счет базового режима их работы на тепловом потреблении (отопление, горячее водоснабжение, отпуск тепла для производственных нужд), малый удельный вес, компактность, простота транспортирования и легкость монтажа, что в динамике современного мира является очень важным фактором. К преимуществам ГТУ также относят короткие сроки строительства, повышение надежности тепло- и электроснабжения потребителей, снижение инерционности теплового регулирования и потерь в тепловых сетях, относительно сетей подключенных к крупным РТС и ТЭЦ. В целом, несмотря на все минусы газотурбинных установок, все-таки положительные качества перевешивают и как видно по динамике развития современной энергетики - не зря.

#### Список использованной литературы:

1. Тупов Б.В. Снижение шума от энергетического оборудования. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 232 с.
2. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов – 2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
3. Газотурбинные установки (ГТУ) <http://www.mosenergoinform.ru/articles/gtu.htm> (дата обращения 13.02.1202.)

## ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИКЛАВОЗДУШНО-ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Иванова А.П.

Научный руководитель: Дьяченко Ю.В, д.т.н., профессор

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

E-mail: [yatsan@ngs.ru](mailto:yatsan@ngs.ru)

### Введение

Эксергетический метод анализа позволяет оценить совершенство любой технической установки в качественно однородных величинах [1].

Такой величиной, или термодинамической функцией, учитывающей, как свойства самой системы, так и окружающей среды является эксергия:

$$e = (i - i_0) - T_0(s - s_0), \quad (0)$$

где  $i$  – удельная энтальпия;  $s$  – удельная энтропия;  $T$  – термодинамическая температура;  $0$  – индекс, обозначающий состояние равновесия с окружающей средой. Эксергия дает представление о предельных возможностях преобразования энергии при обратимых процессах.

Эксергетический к.п.д. [1] определяется отношением полученной (пригодной для технического использования) эксергии ( $\Sigma e^+$ ) к затраченной ( $\Sigma e^-$ ):

$$\eta_e = \Sigma e^+ / \Sigma e^-. \quad (1)$$

Здесь  $\Sigma e^+$  взята по своему абсолютному значению, так как эксергии потока тепла в холодильной камере (ХК) и тепловой поток, отобранный в ХК противоположно направлены.

### Эксергетическая модель цикла ВХМ

На рис. 1 представлена схема и ( $e-h$ ) диаграмма идеализированного цикла ВХМ (воздушно-холодильной машины).

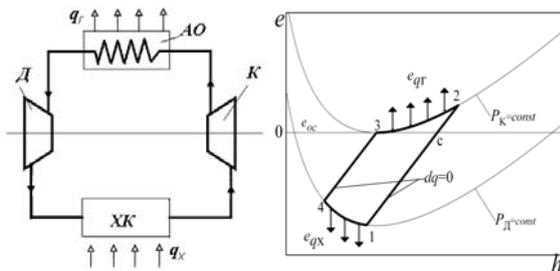


Рис.1. Схема и  $e-h$  диаграмма ВХМ.

Примем, что процессы сжатия в компрессоре (К) и расширения в детандере (Д) протекают изотропно и адиабатно; процессы теплообмена в атмосферном охладителе (АО) и ХК изобарные и протекают при конечной разности температур, при этом температуры источников постоянны и сами источники имеют неограниченную емкость. Также примем, что рабочее тело является идеальным газом и циркулирует с постоянным расходом.

### Эксергетическая эффективность цикла ВХМ

Изменение эксергии  $e_q$  в изобарном процессе теплообмена с холодным источником равно эксер-

гии теплового потока, отобранного в холодильной камере [1],

$$(\Delta e)_p = e_{q_x} = q_x \tau_e, \quad (2)$$

где  $q_x$  тепловой поток, отобранный в холодильной камере (удельная холодопроизводительность),  $\tau_e = 1 - \Theta$  – эксергетическая температурная функция, где  $\Theta$  – отношение температуры горячего источника к температуре холодного источника. Выражение (2) представляет собой полезный эффект воздушно-холодильной машины.

По модели цикла ВХМ с полным балансом энергии [2] подведенная (затраченная) эксергия  $e_3$  будет выражена работой цикла:

$$e_3 = l_{\text{ц}} = l_{\text{к}} - l_{\text{д}}. \quad (3)$$

Учитывая, что  $T_1 = T_X$ ,  $T_3 = T_{\Gamma}$  и, выражая температуру  $T_2$  и  $T_4$  через уравнения соответствующих адиабатных процессов (3-4, 1-2):

$$T_2 = T_X \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{k-1}{k}}, T_4 = T_{\Gamma} \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{1-k}{k}}. \quad (4)$$

Тогда с учетом выражения (4), выражение (2) и (3) соответственно преобразуются:

$$e_{q_x} = c_p \left( T_X - T_{\Gamma} \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right) (1 - \Theta), \quad (5)$$

$$e_3 = c_p \left[ T_X \left[ \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] - T_{\Gamma} \left[ 1 - \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right] \right]. \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в (1), получим выражение для определения эксергетического к.п.д. цикла ВХМ:

$$\eta_e = \frac{\left( 1 - \Theta \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right) (1 - \Theta)}{\left[ \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] - \Theta \left[ 1 - \left( P_{\text{к}} / P_{\text{д}} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right]}. \quad (7)$$

Полученное выражение полностью определено если заданы температуры источников и степень сжатия цикла  $P_{\text{к}}/P_{\text{д}}$ .

### Предельные условия реализации цикла.

Анализ зависимости (7) показывает, что существует предельное условие реализации цикла по величине степени сжатия цикла при заданном  $\Theta$

В соответствии с рис.1 очевидно, что давление  $P_{\text{к}}$  не может быть меньше предельного значения, определяемого изобарой, проходящей через точку с.

При предельном значении  $P_K$  тело цикла вырождается вертикальную линию, при этом полезный эффект равен нулю.

Данное условие будет выражено равенством нулю числителя, которое после преобразований:

$$\frac{P_K}{P_D} \geq \Theta^{\frac{k}{k-1}}. \quad (8)$$

Зависимость (8) выражает предельное значение отношения давлений в цикле  $(P_K/P_D)_{пр}$ , при котором эксергетический к.п.д. равен нулю. Характер этой зависимости показан на рис.2

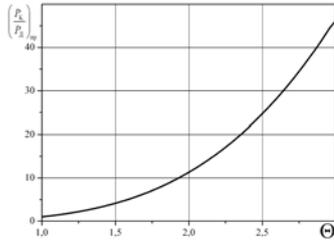


Рис.2. Зависимость предельного отношения давлений цикла от отношения температур источников.

Таким образом, влияние  $\Theta$  выражается в ограничении области существования цикла ВХМ. С ростом  $\Theta$  увеличивается предельное отношение давлений цикла, что уменьшает область существования цикла по РК.

Полученный результат можно рассматривать как обоснование положения о независимости эксергетического к.п.д. идеализированного цикла ВХМ от отношения температур источников.

Увеличение  $\Theta$  равнозначно повышению ТГ или уменьшению ТХ. Возрастание  $T_T$  приводит к смещению точки (3) цикла по изобаре  $P_K$  вправо, при этом увеличивается потери эксергии, связанные с теплообменом в АО и сопровождается уменьшением работа цикла. Уменьшение  $T_X$  приводит к смещению точки (1) цикла влево по изобаре  $P_D$ , при это уменьшается эксергия теплового потока отобранного от холодного источника и сопровождается увеличением работа цикла. Изменение работы адиабатных процессов (1-2), (3-4), реализуемых в одинаковых интервалах давлений при их смещении в область более высоких или более низких температур, характеризуется известной термодинамической зависимостью: с уменьшением температуры снижается техническая работа процесса.

Описанная выше особенность обратимого цикла ВХМ соответствует условию, что цикл может быть реализован с неизменным эксергетическим к.п.д. в любом одинаковом диапазоне температур горячего и холодного источника.

#### Эксергетический к.п.д. цикла ВХМ

На рис. 3 представлена зависимость эксергетического к.п.д. цикла ВХМ от отношения давлений цикла и от отношений температур источников.

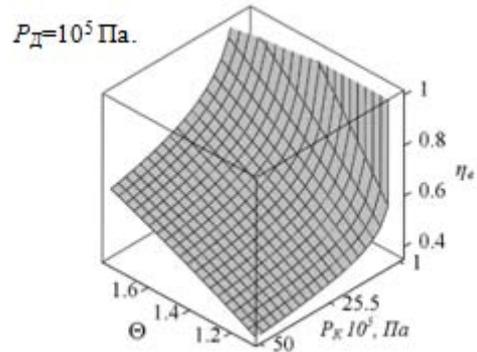


Рис.3. Зависимость эксергетического к.п.д. цикла ВХМ от исходных параметров.

Таким образом, с уменьшением отношения давлений цикла и с ростом отношения температур источников эксергетическая эффективность идеализированного цикла ВХМ увеличивается.

Данное положение можно проиллюстрировать следующим образом: на рис. 4 представлен график зависимости полученной и затраченной эксергии, от степени сжатия цикла, для различных  $\Theta$ .

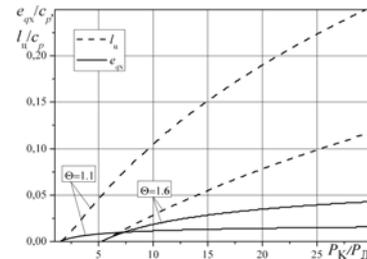


Рис. 4. Зависимость полезного эффекта и затраченной эксергии от степени сжатия цикла.

Из приведенных данных следует, что каждому значению  $\Theta$  соответствует предельное минимальное значение, определяемое (8), при котором эксергетическая производительность и удельная работа цикла равны нулю. Увеличение давления приводит к превалирующему росту затраченной эксергии над полезным эффектом, причем данная тенденция выражена в большей степени при большем температурном диапазоне реализации цикла. При этом, максимальные значения эксергетического к.п.д. лежат в области низких отношений давлений цикла.

#### Список литературы:

- [1] Бродянский В.М. и др. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
- [2] Дьяченко Ю.В. Исследование термодинамических циклов воздушно-холодильных машин: монография / Ю.В. Дьяченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 404 с.

## АНАЛИЗ ЗАМЕНЫ ПАРОВОГО ПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ БЛОКА К-500-24 ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Калгин Д.Е., Галашов Н.Н.

Научный руководитель: Галашов Н.Н., доцент.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [darion@scalpnet.ru](mailto:darion@scalpnet.ru)

Энергоресурсосбережение является одной из актуальнейших проблем современного времени. Решение этой проблемы в энергетике отнесено к стратегическим задачам государства, являясь одновременно и основным методом обеспечения энергетической безопасности, а также реальным способом сохранения высоких доходов от экспорта углеводородного сырья. Требуемые для внутреннего развития энергоресурсы можно получить не только за счет увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов, но и с меньшими затратами, за счет энергосбережения непосредственно в центрах производства и потребления энергоресурсов. Так, к примеру, подавляющее большинство основного оборудования российских тепловых электрических станций исчерпало свой проектный ресурс. Однако, на данный момент из-за многочисленных проблем, связанных с экономическими и другими факторами, массовое техническое перевооружение электростанций в короткие сроки провести невозможно. Поэтому стоит задача модернизации и реконструкции оборудования и схем существующих энергоблоков с целью увеличения ресурса и эффективности их работы. Одним из выгодных вложений денег в реконструкцию ТЭС является замена парового турбопривода питательных насосов энергоблоков газотурбинным приводом [1].

Обычно приводными паровыми турбинами комплектуются питательные насосы конденсационных блоков мощностью 300 МВт и выше, а также теплофикационный блок с турбиной Т-250-24. Рассмотрим возможность замены парового привода питательного насоса газотурбинным двигателем (ГТД) на примере блока К-500-24 [2].

На энергоблоках 500 МВт устанавливают, с целью разгрузки выхлопных частей главных турбин, питательные насосы с приводной конденсационной паровой турбиной, по два рабочих турбо-насоса, каждый на 50 % полной подачи с резервированием подвода пара к приводной турбине. Для создания дополнительного подпора на всасе питательного насоса с целью предотвращения кавитации устанавливают предвключенные бустерные насосы. Бустерные насосы в этих энергоблоках имеют общий с главным питательным насосом привод от турбины через понижающий обороты редуктор.

Различаются две схемы включения питательного насоса: одноподъемная – с одним насосом перед группой подогревателей высокого давления (ПВД), и двухподъемная – с двумя питательными насосами – первый с пониженным напором перед группой ПВД и второй на полное дав-

ление – за ПВД. Согласно многочисленным исследованиям, обе схемы обеспечивают практически одинаковую тепловую экономичность турбоустановки. Как показывает сопоставление обоих вариантов схем в условиях заданной температуры питательной воды на входе в котел, во второй схеме благодаря повышению энтальпии питательной воды во втором насосе можно понизить давление верхнего регенеративного отбора, в результате чего обеспечивается дополнительная выработка электроэнергии. Однако этот положительный эффект полностью компенсируется увеличением расхода энергии на привод питательных насосов (вследствие заметного увеличения удельного объема питательной воды в главном насосе). В результате чего в схеме с двумя насосами расход энергии на перекачку воды возрастает на 20–30% относительно варианта схемы с одним насосом [2].

При сниженных нагрузках блока турбопривод питательного насоса с переменной частотой вращения ротора имеет следующие преимущества по сравнению с электроприводом:

- по мере снижения нагрузки блока напор насоса снижается в соответствии с характеристикой сети, а не возрастает как у электронасоса; благодаря этому исключаются потери, связанные с дросселированием избыточного напора;
- при снижении производительности насоса в условиях переменной скорости вращения его КПД падает менее резко;
- снижается давление, на которое рассчитываются трубопроводы питательной воды и трубная система подогревателей высокого давления, что уменьшает затраты в трубопроводы и ПВД и повышает их надежность.

Основным недостатком парового турбопривода механизмов собственных нужд энергоблока является относительно низкая экономичность приводной турбины при ее малой мощности и большом расходе пара. Кроме того, применение парового турбопривода усложняет тепловую схему электростанции.

Более перспективными в отношении замены электродвигателей и паровых турбоприводов для привода собственных нужд станции являются газотурбинные двигатели, КПД которых в последнее время достиг 33–35 % даже при мощностях 5–6 МВт.

Принцип работы газовых турбин состоит в следующем: воздух, нагнетаемый в камеру сгорания компрессором, смешивается с топливным газом, формируя топливную смесь, и поджигается.

Образующиеся продукты горения с высокой температурой (900-1400 °С), проходя через несколько рядов лопаток, создают механическую мощность на валу турбины. Механическая энергия вала приводит в действие механизм собственных нужд станции (насос, вентилятор и т.д.). При этом выходящие из турбины газы имеют температуру 450–550 °С и их тепловая энергия может быть полезно использована для подогрева воды и воздуха в цикле энергоблока. Количественное соотношение тепловой энергии к механической у газовых турбин составляет 2,5:1.

КПД современных газовых турбин составляет 30–40 %, в зависимости от температуры и давления газов перед турбиной. С учетом использования тепла уходящих газов их тепловая эффективность возрастает до 80 % в расчете на условную единицу сожженного топлива (по теплотворной способности). Также уходящие газы содержат большое количество кислорода и их можно использовать для сжигания топлива в котле, что позволяет снизить расход воздуха через дутьевые вентиляторы и затраты мощности на них.

Газовые турбины обладают хорошими экологическими параметрами (эмиссия NO<sub>x</sub> на уровне 25 ppm). Работа газовых турбин сопровождается низким уровнем шума и вибрации, Их общий ресурс работы доведен до 120 тыс. часов, а ресурс работы до капитального ремонта до 35 тыс. часов.

К достоинствам газотурбинных двигателей относятся: компактность; низкие эксплуатационные расходы; надежная работа в резкопеременных режимах; малое время пуска (10–15 мин.); не требуют пара и охлаждающей воды.

В качестве недостатков необходимо отметить сильную зависимость КПД от нагрузки и температуры наружного воздуха; необходимость использования электроэнергии или сжатого воздуха для запуска; возможность работы только на газовом и жидком топливе и высокое давление газа, что требует установки дожимных компрессоров или топливных насосов.

Для замены парового турбопривода питательных насосов ПТН-950-350 энергоблока К-500-24 необходимо выбрать газотурбинные двигатели и дожимной компрессор. Для использования теплоты уходящих газов ГТД была составлена тепловая схема, в которой на линии питательной воды после группы ПВД установлен газовойдяной теплообменник (ГВТО), в нем уходящими газами нагревается питательная вода перед котлом. Из ГВТО

газы идут в линию горячего воздуха после воздухоподогревателя парового котла энергоблока и используются для сжигания топлива.

Был произведен тепловой расчет одноподъемной существующей схемы энергоблока К-500-24 и новой схемы с указанными изменениями, в результате которого получены следующие данные.

Для существующей схемы при расходе пара на турбину 424 кг/с: электрическая мощность на генераторе 505 МВт; механическая мощность на валу двух турбоприводов ПН 19,5 МВт; КПД турбоустановки по производству электроэнергии 46,7 %.

Для привода ПН в новой схеме выбран ГТД UGT10000С который имеет следующие характеристики: мощность на валу 10,5 МВт; эффективный КПД 35,9 %; число оборотов в минуту 6500; удельные капитальные вложения 405 USD/кВт [3].

Для новой схемы при расходе пара на турбину 424 кг/с: электрическая мощность на генераторе 526,8 МВт; КПД турбоустановки по производству электроэнергии 47,3 %.

Таким образом, новая схема позволяет увеличить КПД и мощность по выработке электроэнергии на 21,8 МВт.

Срок окупаемости затрат в ГТД дожимной компрессор и системы утилизации тепла за счет продажи дополнительной электроэнергии составил 1,2 года.

Проведенный анализ говорит о высокой эффективности новой схемы.

#### Список использованной литературы:

1. Галашов Н.Н. Эффективность применения газовых турбин на ТЭС для привода собственных нужд. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 4. – С. 48–50.
2. Григорьев В.А., Зорин В.М., Тепловые и атомные электрические станции. –Москва Энергоатомиздат, 1989. - 590 с.
3. [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=787](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=787) (Отчет энергетические газотурбинные установки и энергетические установки на базе газопоршневых и дизельных двухтопливных двигателей. Часть 1. Энергетические газотурбинные установки. – М.: 2004. – 127 с.)

## РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ МЕТОДОМ ВЫРАВНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУР С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ

Колесникова Е. А.

Научный руководитель: Немова Т. Н., д.т.н., с.н.с.  
 Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2

E-mail: [alko.gm@gmail.com](mailto:alko.gm@gmail.com)

Работа является продолжением исследования температурного поля системы капля-подложка [1-3]. В этих работах проведены расчеты температурных полей методом выравнивания температур малых соседних объемов при охлаждении и затвердевании капли при неизменных значениях теплопроводностей и теплоемкостей материала. Однако, например, теплопроводность стали при изменении ее температуры от 1800 К до 300 К изменяется более чем в 2 раза, а теплоемкость - в 1,5 раза. Значительное изменение теплофизических характеристик материалов при изменении температуры требует оценки этого влияния на результаты расчета температурного поля. С целью определения зависимости результата расчета от теплофизических характеристик материала в системе капля-подложка в качестве предварительной оценки рассмотрена одномерная задача. Для стальной бесконечной пластины толщиной 0,01 м, равномерно нагретой до 1000 К, рассчитаны температурные поля при ее охлаждении до 300 К и граничных условиях первого рода (температура на границах пластины в начальный момент  $t_0$  приобретает температуру 300 К и в процессе охлаждения остается неизменной).

В таблице приведены температурные диапазоны  $\Delta T$  и соответствующие им величины коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплоемкости ( $c$ ) для стали [4].

Таблица

$i$ , диапазон	$n_i$ , кол-во отрезков в группе	$\Delta T$ , К	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$c$ , кДж/(кг·К)
1	59	300...350	59	0,46
2	57	350...420	57	0,49
3	55	420...470	55	0,52
4	53	470...520	53	0,54
5	51	520...570	51	0,57
6	49	570...620	49	0,59
7	47	620...650	47	0,61
8	45	650...700	45	0,63
9	43	700...750	43	0,65
10	41	750...800	41	0,67
11	37	800...850	37	0,70
12	35	850...900	35	0,72
13	33	900...950	33	0,74
14	31	950...1000	31	0,77

### Методика расчета

В работе [2] для расчета температурного поля при постоянных значениях коэффициентов теплопроводности и теплоемкости после разбиения всей длины пластины на равные отрезки  $\Delta l$  проводилось выравнивание температур соседних отрезков для одинаковых интервалов времени  $\Delta t$ . В случае различных значений этих параметров скорость продвижения нагрева или охлаждения для одинаковых отрезков времени  $\Delta t$  различна. Из этого следует, что длина отрезка  $\Delta l$  при постоянном  $\Delta t$  не является постоянной величиной. Для решения этой проблемы из равных отрезков выделяем группу с одинаковой теплопроводностью. Число отрезков в группе определяет точность задания величины теплопроводности. Чем больше отрезков в группе, тем больше разрешение по  $\Delta \lambda$ .

Минимальной величине теплопроводности в нашем случае соответствует температурный интервал с  $i = 14$  (950 – 1000 К) и количеством отрезков в группе  $n_{14} = 31$  (см. табл.). Это количество отрезков соответствует точности по  $\Delta \lambda$  около 3% ( $100\% / 31 \approx 3,23$ ). Число отрезков  $n_i$  в группе определяется по формуле:

$$n_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\min}} n_{\min} \quad (1)$$

где  $n_i$ ,  $\lambda_i$  – количество отрезков  $\Delta l$  и теплопроводность в  $i$ -той группе,  $n_{\min}$ ,  $\lambda_{\min}$  – минимальные количество отрезков  $\Delta l$  и теплопроводность,  $i$  – номер температурного диапазона (группы отрезков). Толщина пластины  $L$  разбивается на отрезки одной длины  $\Delta l$ . Обозначим общее количество этих отрезков  $k$ . Из отрезков с равными теплопроводностями формируем группы. Количество отрезков в этих группах определяется выражением (1). Погрешность решения задачи пропорциональна числу групп, а точность решения обратно пропорциональна числу отрезков в группе.

Выровненная температура в парах соседних групп  $T_{n_i, n_{i+1}}$  определяется по формуле:

$$T_{n_i, n_{i+1}} = \frac{\sum_1^{n_i} c_{n_i} T_{n_i} + \sum_1^{n_{i+1}} c_{n_{i+1}} T_{n_{i+1}}}{\sum_1^{n_i} c_{n_i} + \sum_1^{n_{i+1}} c_{n_{i+1}}} \quad (2)$$

где  $c_{n_i}$ ,  $c_{n_{i+1}}$  – теплоемкость каждого отрезка в  $i$ -той и  $i+1$  группах,  $T_{n_i}$ ,  $T_{n_{i+1}}$  – температура отрезка

ка в  $i$ -той и  $i+1$  группах,  $n_i, n_{i+1}$  - количество отрезков в  $i$ -той и  $i+1$  группах.

Интервал времени  $\Delta t$ , за которое происходит выравнивание температур пары соседних групп, определяется законом Фурье для стационарного режима:

$$\Delta t = \frac{c_{\min} \cdot \rho (\Delta l \cdot n_{\min})^2}{\lambda_{\min}} \quad (3),$$

где  $c_{\min}, \lambda_{\min}, n_{\min}$  - минимальные значения теплоемкости и теплопроводности, количество отрезков в группе,  $\Delta l$  - длина отрезка,  $\rho$  - плотность материала.

Алгоритм вычисления температурного поля подобен алгоритму, описанному в работе [2].

На рис. 1. показана температура по толщине для стальной пластины через 1 с после начала остывания.

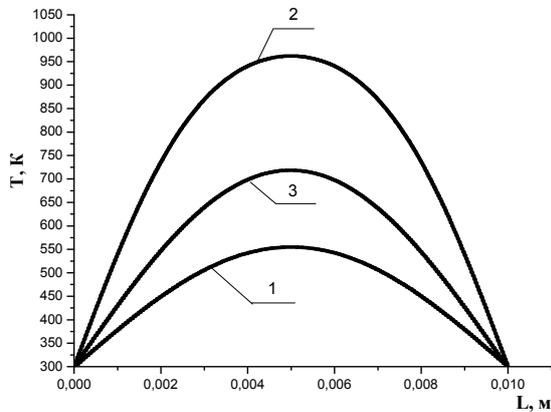


Рис. 1. Температурное поле стальной пластины через 1 с после начала охлаждения: 1 - при постоянных максимальных значениях коэффициентов теплопроводности и теплоемкости ( $\lambda_1 = 59$  Вт/(м К),  $c_1 = 460$  Дж/(кг К)); 2 - при постоянных минимальных значениях коэффициентов теплопроводности и теплоемкости ( $\lambda_2 = 31$  Вт/(м К),  $c_1 = 770$  Дж/(кг К)); 3 - при постоянных усредненных величинах коэффициентов теплопроводности и теплоемкости ( $\lambda_1 = 47$  Вт/(м К),  $c_1 = 610$  Дж/(кг К)) (см. табл.).

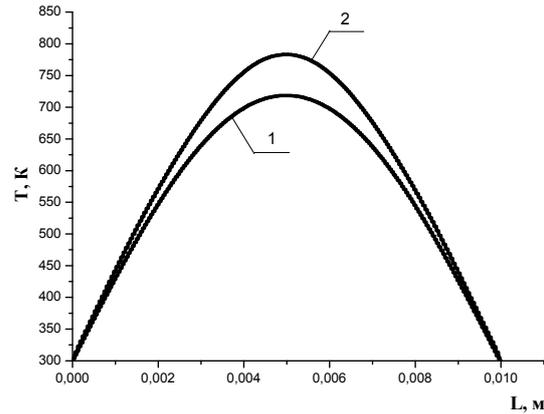


Рис. 2. Температурное поле стальной пластины через 1 с после начала охлаждения: 1 - при постоянных усредненных величинах коэффициентов теплопроводности и теплоемкости ( $\lambda_1 = 47$  Вт/(м К),  $c_1 = 610$  Дж/(кг К)); 2 - при изменяющихся значениях коэффициентов теплопроводности и теплоемкости в зависимости от температурного диапазона (см. табл.).

Из анализа рис. 1, 2 следует, что при выборе для расчета минимальной величины теплопроводности, например, в работе [3], расчетные температуры могут в полтора и более раз превышать реальные значения температур. Выбор средних значений теплопроводности и теплоемкости увеличивает точность решения, но разница между расчетной и приближено к реальной температурами остается значительной. Для задачи с пластиной она достигает 7% (рис. 2.).

Таким образом, при значительном изменении теплопроводности и теплоемкости материала от температуры, следует решать задачу с учетом этих изменений.

#### Список литературы:

1. Немова Т.Н., Кузнецов Г.В., Колесников А.А., Колесникова Е.А. Методика определения температуры в зоне контакта капли металла с подложкой // Известия вузов. Физика 2009. Т. 52. № 7/2, С. 150-154
2. Немова Т.Н., Колесникова Е.А. Определение температурного поля подложки под каплей расплава методом выравнивания температур соседних слоев // Известия вузов. Физика 2010 № 12/2, С. 200-204
3. Колесникова Е. А., Немова Т. Н. Влияние формы частицы на границу плавления в системе капля-подложка/ Известия вузов. Физика 2011. № 10/2, С. 88-92
4. Аметистов Е. В., Григорьев В. А., Емцев Б. Т и др.; Под общ. ред. Григорьева В. А., Зорина. В. М.// Тепло- и массообмен. Теплофизический эксперимент: Справочник - М.: Энергоиздат.; 1982, 512 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРОВОЙ ФАЗЫ В ИНТЕРВАЛАХ РАЗОГРЕВА И ИНТЕНСИВНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ

Кравчук А.С.

Научный руководитель: Феоктистов Д.В., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [anastasia.tom@mail.ru](mailto:anastasia.tom@mail.ru)

Эффективному использованию теплоты в установках по разделению бинарных и многокомпонентных жидкостей посвящены работы Тимошенко А.В., Комиссарова Ю.А., Цирлина А.М., и других авторов. Несмотря на важность вопроса [1-3], в настоящее время практически отсутствуют экспериментальные данные об основных закономерностях этого процесса. Недостаточно проработаны научно-технические вопросы, связанные с влиянием концентрации, состава исходного вещества, величины подводимой к установке теплоты на энергоэффективность процесса разделения.

По этим причинам экспериментальные исследования процессов разделения бинарных веществ, направленные на установление основных закономерностей изменения температуры паровой фазы в течение технологического цикла, являются актуальными.

Для проведения экспериментов, моделирующих условия процесса простой перегонки, собрана и модернизирована экспериментальная установка АРНП-2 производства «Скиф-Аналит» г. Киева [4]. Основными элементами установки, представленной на рис. 1, являются: нагреватель, охлаждающая емкость, колба Вюрца, устройство для измерения температуры. В качестве датчиков температур использовались термопары, установленные в точке отвода паров дистиллята по патрубку колбы Вюрца и в центре жидкой фазы исходной смеси.

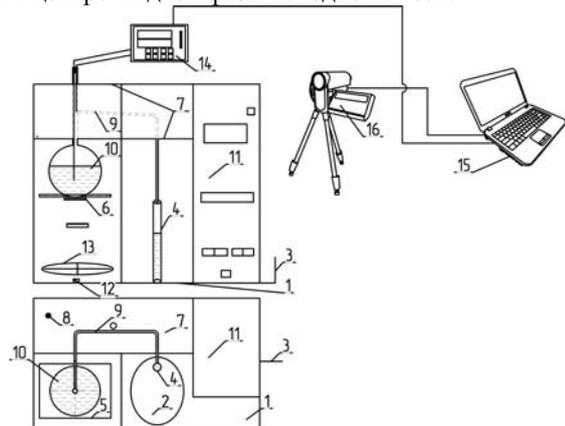
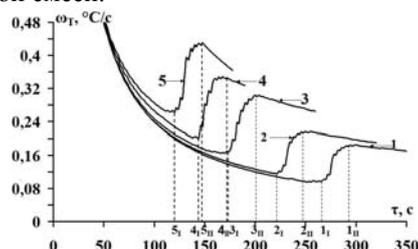


Рис. 1 – Экспериментальная установка: 1 – основание; 2 – подъемный столик; 3 – рычаг; 4 – мерный цилиндр; 5 – тепловой экран; 6 – нагреватель; 7 – охлаждающая емкость; 8 – датчик температуры; 9 – металлическая трубка; 10 – колба Вюрца; 11 – электронный блок; 12 – тумблер включения вентилятора; 13 – вентилятор; 14 – восьмиканальное устройство измерения температуры УКТ38 – Щ4; 15 – персональный компьютер; 16 – видеокамера.

В работе [4] выделены хорошо идентифицируемые температурные интервалы, характеризующие нестационарные режимы работы дистилляционных аппаратов: I. Разогрев перегоняемого вещества; II. Интенсивное увеличение температуры до кипения низкокипящего компонента; III. Полное испарение низкокипящего компонента; IV. Испарение высококипящего компонента; V. Охлаждение паров.

Ниже представлены результаты исследования интервала разогрева и интенсивного увеличения температуры в процессе перегонки водных бинарных смесей этилового спирта и ацетона.

Результаты исследования скорости изменения температуры паровой фазы в интервалах разогрева (I) и интенсивного увеличения температуры (II) представлены на рис. 2. Сопоставление значений, соответствующих завершению I и II интервалов,  $(t_{1,II} - t_{1,I})$  позволяет сделать заключение о том, что увеличение концентрации легкокипящего компонента в исходном растворе в 2 раза при всех прочих адекватных условиях сокращает длительность первого интервала на 10 – 15% и не приводит к заметному изменению продолжительности второго интервала. Проведенные эксперименты показали, что химический состав легкокипящего компонента водного бинарного раствора является основным фактором, влияющим на значение температуры паровой фазы, при которой происходит переход из I во II и II в III интервалы. Для однотипного химического состава их значения постоянны. Для водного раствора ацетона и этилового спирта температура смены первого на второй интервал равна 27°C и 30,4°C, второго на третий 57,6°C и 78,5°C. Стоит отметить, что значение температуры, при которой происходит завершение второго интервала для водного раствора ацетона и этилового спирта, сопоставимо со значениями температур кипения ацетона 56°C и этилового спирта 78,3°C. Различие составляет менее 3%. Можно обоснованно предположить, что завершение второго интервала осуществляется в момент достижения паровой фазой температуры кипения легкокипящего компонента, входящего в состав исходной смеси.



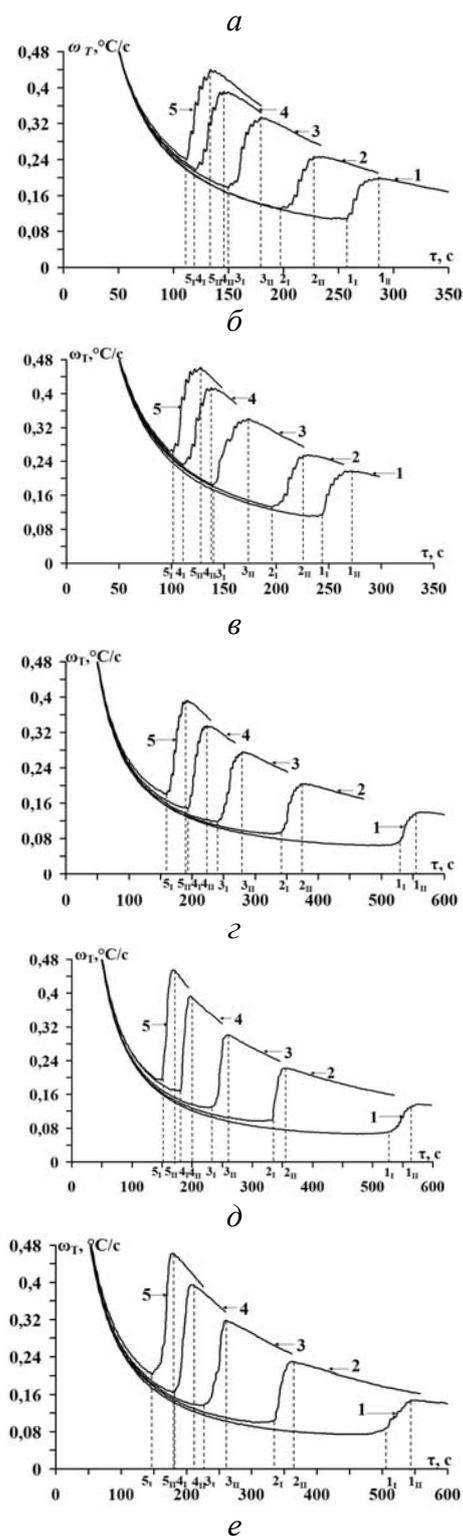


Рис. 2 – Зависимости скорости изменения температуры паровой фазы от времени для I и II интервалов процесса простой перегонки водного раствора ацетона: (а) – 33,4% (об.), (б) – 50% (об.), (в) – 66,6% (об.); водного раствора этилового спирта: (г) – 20% (об.), (д) – 26,6% (об.), (е) – 40% (об.) при подводимой мощности, Вт: 1 – 40,7; 2 – 76; 3 – 121,8; 4 –

174,9; 5 – 225,3.  $1_{I, II}$  –  $5_{I, II}$  – соответственно завершение I и II интервалов.

Установлено, что для уменьшения продолжительности интервала разогрева перегоняемого раствора на 10%, необходимо увеличить мощность нагрева минимум на 80%, причем соотношение длительности I интервала и подводимой теплоты увеличивается в сторону последней величины на несколько порядков. Определенное влияние на рассматриваемый процесс оказывает химический состав и концентрация легколетучего компонента в исходной смеси. Однозначно масштабы данных эффектов достаточно сложно оценить в связи с многообразием водных растворов и трудоемкостью эксперимента. Определено, что установленный выше порядок соотношения будет для бинарных водных растворов практически идентичным.

Установлено, что затраты теплоты, необходимые для завершения процесса интенсивного увеличения температуры до кипения низкокипящего компонента (II), зависят только от химического состава разделяемого водного раствора. Продолжительность данной стадии не зависит от величины подводимой теплоты и концентрации. Следовательно, во втором интервале технологического цикла можно снижать величину подводимой теплоты до значений, обеспечивающих разделение.

Таким образом, вышеизложенный материал позволяет сделать заключение о возможности создания специальной системы автоматизации, эффективного управления теплоснабжением промышленных перегонных аппаратов с помощью регулировки количества подведенной теплоты в интервалах разогрева (I) и интенсивного увеличения температуры (II) технологического цикла процесса разделения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимошенко А.В., Садиков А.Ф. Анализ эффективности использования сложных колонн при ректификации продуктов хлорирования бензола // Химическая промышленность сегодня. – 2005. – № 8. – С. 38 – 43.
2. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Научные основы процессов ректификации. – М.: Химия, 2004. – Т.1. – 270 с.
3. Цирлин А.М., Титова И.В. Оценка минимальной работы разделения идеальной смеси в процессах заданной производительности // Теоретические основы химической технологии. – 2004. – Т.38. – № 5. – С. 518–527.
4. Экспериментальные исследования изменения температуры паровой фазы при простой перегонке веществ // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Томск. – Т.317. – С. 48 – 52.

## МАЛОГАБАРИТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ

Кулямов П.В.

Научный руководитель: Кича Г.П., д.т.н., профессор  
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
690059, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а  
E-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

Анализ эффективности существующих установок для регенерации отработанных моторных масел (ОММ) показывает, что в диапазоне производительности от 0,3 до 3,0 т/ч отсутствуют малогабаритные установки для регенерации. При малотоннажной регенерации наиболее эффективными являются комбинированные методы с преобладанием физических способов регенерации.

На морском транспорте целесообразно использовать для судовых условий малогабаритные и мобильные установки, а для береговых предприятий – многофункциональные передвижные и стационарные регенерационные установки.

В процессе эксплуатации механизмов, двигателей, транспортирования и хранения смазочных масел происходит их загрязнение топливом, водой и хладагентами. В судовых условиях эксплуатации в результате загрязнения смазочных масел жидкими загрязнителями бракуется от 50 до 70 % масел.

Цель создания установки – повышение экономичности и интенсивности процесса дистилляции жидких загрязнителей из масла, снижение массогабаритных характеристик установки. Поставленная цель достигается тем, что для очистки смазочного масла от жидких загрязнений после нагрева и фильтрации применяется последовательная двухэтапная капельно-пленочная дистилляция в линейном и циклонно-пленочном испарителях соответственно.

Способ регенерации ОММ с использованием созданной установки уникален тем, что для очистки ОММ от водотопливных фракций (ВТФ), после удаления механических примесей применяется термо-вакуумное испарение при последовательном двухэтапном процессе отгона ВТФ: сначала – капельно-пленочная дистилляция в объемном линейном цилиндрическом (с небольшой конусностью) испарителе после форсунки – эжектора, а затем – в циклонном термо-вакуумном испарителе (ЦТВИ) соответственно, где, за счет конструктивных особенностей, реализуется применение эффекта Ранка. На этапе капельного испарения из масла удаляется практически вся вода и большая часть легких топливных фракций, причем наличие в масле диспергированной воды увеличивает эффективность капельного испарения за счет вторичного распыла капель масла и местной турбулизации факела за счет кавитации от микровзрывов перегретых капель воды в насадке форсунки, стабилизация этапа капельного испарения обеспечивается формой цилиндрической камеры и высокой скоростью факела (обеспечивается конструкцией форсунки – эжектора). Одновременно с дистилля-

цией, в камере капельного испарения из распыленного обезвоженного масла и паров воды и топлива формируется двухфазный узкий парожидкостный факел с высокой линейной скоростью, который непосредственно из цилиндрической камеры капельного испарения тангенциально подводится на внутреннюю неподвижную поверхность в верхней части ЦТВИ.

Установка для регенерации масла представлена на рис. 1, и работает следующим образом. Загрязненное масло через фильтр грубой очистки 12 теплообменник 17 насосом 10 подается на подогреватель масла 11. От подогревателя 11 через фильтр тонкой очистки 13 масло с параметрами давление  $P_m = 1-2,5$  МПа и температурой  $t_m = 30-170$  °С подается на форсунку 2. Из форсунки 2 линейный факел без крутки распыленного масла в виде узкого полого конуса через камеру всасывания 3 со скоростью  $V = 25-40$  м/с подается в камеру объемного капельного испарения 1. Разрежение в камере всасывания 3 используется для формирования факела распыленного масла и вакуумирования конденсатора 14. Давление (абсолютное) в камере капельного испарения и циклоне 4 поддерживается в диапазоне 0,01–0,03 МПа при температуре 100–160 °С. В вакуумированной камере капельного испарения 1 перегретые капли диспергированной в масле воды мгновенно испаряются, «микровзрывы», разрывая частицы распыленного форсункой 2 масла на десятки более мелких частиц, в сотни раз увеличивая поверхность испарения масла, одновременно увеличивается внутренняя турбулизация и поперечное сечение факела. В камере капельного испарения 1 из масла испаряется вся вода и часть легких топливных фракций.

Камера капельного испарения 10 представляет собой ступенчатый цилиндр или конус соосный с форсункой с небольшим углом конусности, например 5–10 град., расширяющийся по движению факела. Поперечное сечение камеры капельного испарения 1 выбраны такими, чтобы скорости движения паровой и жидкой фракций факела были примерно равными, а длина камеры и диаметр выходного отверстия такими, чтобы при заданных динамических линейных и угловых перемещениях установки перемещение оси факела на выходе за время движения масла от среза форсунки до выходного отверстия камеры 11 было меньше зазора  $\delta_v$  между внешним диаметром факела на входе в циклон 4 из камеры 1 и диаметром входного отверстия циклона 8. Непосредственно из камеры капельного испарения 1 парожидкостный факел распыленного масла тангенциально подается в

верхнюю часть неподвижной внутренней поверхности циклона 12, движение факела из линейного переходит во вращательное по внутренней поверхности циклона. На стенке циклона 12 за счет центробежных сил многократно превышающих силу тяжести осуществляется разделение паровой и жидкой фаз факела распыленного масла и формируется пленка масла. Тангенциальный подвод факела в циклон, форма циклона и высокая линейная скорость факела формируют движение паровой фазы в объеме циклона в виде двух вихрей: внешний паровой вихрь движется сопутно движению пленки масла сверху вниз по внешней спирали, внутренний паровой вихрь по обратной спирали снизу вверх. В соответствии с эффектом Ранка температура внешнего вихря выше температуры внутреннего вихря. После испарения ВТФ, уже очищенное масло сливается в маслосборник 16, откуда при помощи масляного насоса 18 и фильтра тонкой очистки 20 может поступать обратно в систему смазки.

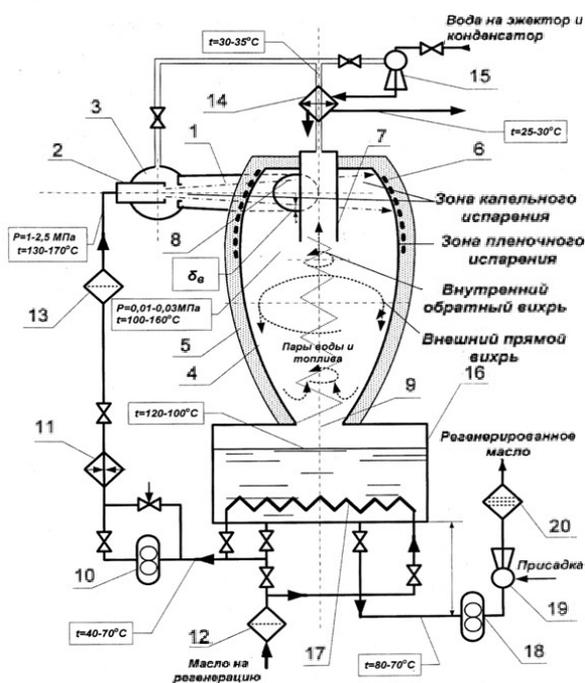


Рис. 1. Схема установки регенерации масел:  
1 – камера капельного испарения; 2 – форсунка; 3 – всасывающая камера; 4 – циклон; 5 – теплоизоляция циклона; 6 – подогреватель; 7 – приемник пара; 8 – входное отверстие циклона; 9 – выходное отверстие циклона; 10 – подающий масляный насос; 11 – основной подогреватель масла; 12 – фильтр грубой очистки; 13 – фильтр тонкой очистки; 14 – конденсатор; 15 – водяной эжектор; 16 – маслосборник; 17 – теплообменник; 18 – откачивающий масляный насос; 19 – диспергатор-дозатор присадки; 20 – фильтр тонкой очистки.

Технические характеристики установки:

1. Установленная мощность – 2,1 кВт, переменный ток, 220 В;
2. Регенерируемые масла – моторные масла классов вязкости М-10...М-24;
3. Восстанавливаемые показатели (достигнутые значения):  
– температура вспышки (со 140 оС до 200 °С);  
– вязкость (с  $\nu_{100} = 8,97$  до  $\nu_{100} = 23$  мм<sup>2</sup>/с);  
– содержание воды (с 3,1 % эмульгированной воды до «следов» при однократной обработке).
4. Объем регенерируемого масла при работе в режиме циркуляции:  $V_M = 6$  дм<sup>3</sup>;
5. Производительность установки:  
номинальная –  $Q_{ном.} = 0,12$  м<sup>3</sup>/ч;  
максимальная –  $Q_{макс.} = 0,23$  м<sup>3</sup>/ч;
6. Объем циклона –  $V_{ц} = 1,5$  дм<sup>3</sup>;
7. Габариты установки: 0,7 × 0,85 × 0,9 м;
8. Вес установки – 30 кг.

Интенсивный тепло- и массообмен в пленке и воздействие горячей паровой фазы на поверхность пленки масла в условиях вакуума обеспечивают высокую скорость и полноту испарения из пленки топливных фракций на этапе пленочного испарения, по сравнению с ламинарным движением пленки в ротационно-пленочных испарителях, существующих установок.

Проведенные лабораторные испытания подтвердили достаточную эффективность разработанных методов и конструкции испарителя, реализующего метод по очистке моторных масел от эмульгированной воды и легких топливных фракций. Испытания в условиях линейных перемещений установки показали ее высокую эффективность работы, что важно для судовых условий эксплуатации в период качки.

Подводя итоги моторных испытаний регенерированного и товарного ММ группы В<sub>2</sub> в малоразмерном судовом дизеле 2Ч10,5/13 следует отметить:

1. Более высокую термоокислительную стабильность регенерированного масла, что обусловлено малым изменением группового состава его углеводородной основы в результате незначительного окисления моноциклических нафтеновых и ароматических фракций при работе в дизеле без наддува.
2. Основные направления и интенсивность старения регенерированного и товарного масел одинаковы. Сроки их службы в нефорсированном дизеле могут быть лимитированы загрязнением нерастворимыми продуктами и срабатыванием присадок.
3. Противоиозные и антинагарные свойства регенерированного и товарного масел довольно близки. Ухудшения маслянистости нефтепродукта М-10-В<sub>2</sub>(р) из-за низкого смолообразования в процессе его работы в дизеле без наддува не наблюдается.

## РАСЧЕТ РАСХОДНО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ПГУ С ФРЕОНОВОЙ ПАРТУРБИННОЙ СТУПЕНЬЮ

Курьянов А.А.

Научный руководитель: Ноздренко Г.В., д.т.н., профессор  
Новосибирский Государственный Технический Университет,  
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

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

Использование фреонов в качестве рабочего тела паротурбинной ступени ПГУ позволяет создавать более эффективные парогазовые циклы за счет использования процессов с закритическими параметрами фреонового пара и процессами конденсации при температуре ниже 273 К [1-4].

На рис. 1 представлен цикл ПГУ с фреоновой паротурбинной ступенью. Фреон R134а.

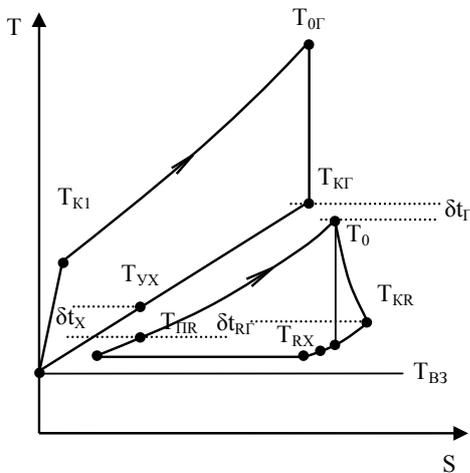


Рис. 1. Теоретический цикл ПГУ с фреоновой паротурбинной ступенью:  $T_{K1}$  – температура на выходе из компрессора;  $T_{0Г}$  – на входе в ГТУ;  $T_{КГ}$  – на выходе из ГТУ;  $T_{УХ}$  – температура уходящих газов;  $T_0$  – температура острого фреонового пара;  $T_{KR}$  – температура фреонового пара на выходе из турбины;  $T_{ПР}$  – температура питательного фреона на выходе из регенератора;  $T_{ВЗ}$  – температура наружного воздуха.

Узловые точки цикла ПГУ с фреоновой паротурбинной ступенью определялись по методикам [6-8] на основе уравнения состояния реального газа (Мартина-Хоу-Алтунина) вида:

$$p = \sum_{i=1}^{n=5} \frac{F_i(T)}{(\nu-b)^i}, \quad (1)$$

или в развернутом виде:

$$p = \frac{RT}{(\nu-b)} + \frac{A_2 + B_2T + C_2e^{-k\tau}}{(\nu-b)^2} + \frac{A_3 + C_3e^{-k\tau}}{(\nu-b)^3} + \frac{A_4 + B_4T}{(\nu-b)^4} + \frac{A_5 + B_5T + C_5e^{-k\tau}}{(\nu-b)^5}, \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения (2) определялись в соответствии с [7].

Энтальпия и энтропия определялись по уравнениям [5, 7]:

$$h = I_1(T) + \sum \frac{I_j(T)}{2(j-1)(\nu-b)^{j-1}} + P\nu;$$

$$S = S_0(T) + S_1(T) + \sum \frac{(-1)^{j-1} S_j(T)}{2(j-1)(\nu-b)^{j-1}}.$$

При расчете теплообмена в котле-утилизаторе, конденсаторе, регенераторе появляется необходимость в оценке теплоотдачи к фреоновым парам докритических давлений, а также к фреонам закритических параметров.

Наиболее целесообразным для этого является использование критериальных формул. Однако отсутствие некоторых необходимых физических свойств не позволяет непосредственно воспользоваться критериальными формулами [5].

В то же время для большинства фреонов имеются достаточно точные сведения о главных термодинамических характеристиках:  $\mu, T_{кр}, P_{кр}$ .

Для коэффициента теплоотдачи к теплоносителю при вынужденном движении в трубах можно записать следующее выражение:

$$\alpha = Aw^{n_1} d^{n_2} q^{n_3} \mu^{m_1} P_{кр}^{m_2} T_{кр}^{m_3} R_0^{m_4} f(\pi, \tau, K_{z_1}, K_{z_2}), \quad (3)$$

где  $K_{z_1}, K_{z_2}$  – критерии подобия.

В (3) весь комплекс перед функцией  $f$  должен иметь размерность коэффициента теплоотдачи. Показатели степени  $n, m$  определяются на основе анализа размерностей. Причем для режимных параметров  $w, d$  показатели степени должны приниматься по экспериментальным данным.

Таким образом, беря за основу критериальное уравнение:

$$Nu_m = 0,021 Re_m^{0,8} Pr_m^{0,43} \left( \frac{Pr_m}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (4)$$

получим следующие значения показателей степени в (3):

$$n_1 = \frac{4}{5}, n_2 = -\frac{3}{10}, n_3 = \frac{3}{20};$$

$$m_1 = -\frac{1}{40}, m_2 = \frac{3}{4}, m_3 = -\frac{7}{8}, m_4 = \frac{1}{8}.$$

С учетом показателей степени и обозначением:

$$Y_* = \mu^{-1/40} T_{кр}^{-7/8} P_{кр}^{3/4}, \quad (5)$$

получаем:

$$\alpha_* = A_* w^{4/5} d^{-3/10} q^{3/20} R_0^{1/8} Y_* f_* (\pi, \tau, K_{z_1}, K_{z_2}) \quad (6)$$

Стоит отметить, что показатели степени в (3) для коэффициентов теплоотдачи к фреонам закритических параметров будут иметь иные значения и составляют:

$$n_1 = \frac{12}{13}, n_2 = -\frac{3}{26}, n_3 = -\frac{1}{13};$$

$$m_1 = -\frac{1}{13}, m_2 = \frac{27}{26}, m_3 = -\frac{23}{26}, m_4 = \frac{3}{26}.$$

С учетом этого и обозначением:

$$Y_{**} = \mu^{-1/13} T_{кр}^{-23/26} P_{кр}^{27/26}, \quad (6)$$

получаем:

$$\alpha_{**} = A_{**} w^{12/13} d^{-3/26} q^{-1/13} R_0^{3/26} Y_{**} f_{**} (\pi, \tau, K_{z_1}, K_{z_2})$$

Таким образом, при расчете теплообмена в качестве базового вещества принята вода и водяной пар. Коэффициент теплоотдачи определялся как:

$$\frac{\alpha_R}{\alpha_{H_2O}} = \frac{Y_R}{Y_{H_2O}}, \quad (7)$$

где,  $Y$  принимается по (5) для докритических параметров, а для закритических параметров по (6).

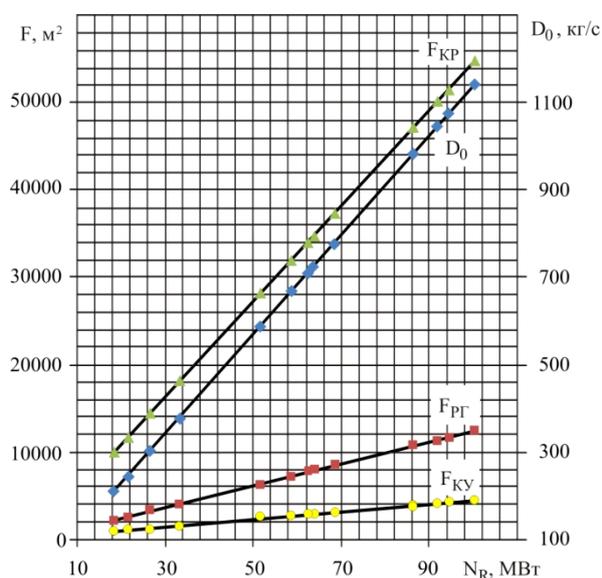


Рис. 2. Зависимость площади поверхностей теплообмена конденсатора ( $F_{кр}$ ), регенератора ( $F_{рег}$ ), котла-утилизатора ( $F_{ку}$ ) и расхода фреона пара ( $D_0$ ) от мощности фреоновой паротурбинной ступени.

На базе термодинамической теории подобия разработана методика расчета расходно-термодинамических параметров и параметров теп-

лообмена в парогазовых установках с фреоновой паротурбинной ступенью.

Показано, что для фреоновой паротурбинной ступени на фреоне R134a мощностью от 18 до 100 МВт расход пара составляет 210..1044 кг/с. Площадь поверхностей теплообмена находится на уровне 950..4500 м² для котла-утилизатора, 2300..12500 м² для регенератора и 10000..55000 м² для конденсатора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курьянов А.А. Бинарные ПГУ с парофреоновой ступенью // XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т.3. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 500 с.
2. Кутателадзе С.С., Розенфельд Л.М./ Патент № 941517/24 – 6, февраль 1965 г.
3. Огуречников Л.А. Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии в низкотемпературной бинарной электростанции. / Л.А. Огуречников // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" – 2007. – № 5. – С. 68 – 72.
4. Сухотин А. М., Семерикова И. А., Москвичева В. Н., Петин Ю. М. Использование фреонов в энергетических установках. АН СССР. Сибирское отд. Ин-т теплофизики. Сборн. Труд. – Новосибирск. – 1973.
5. Бадьялькес И. С. Обобщенный метод расчета термодинамических свойств холодильных агентов. М.: Госторгиздат, 1963. – 52 с.
6. Алтунин В.В. Метод составления уравнения состояния реального газа по ограниченному количеству исходных опытных данных / В.В. Алтунин // Теплоэнергетика. – 1962. – № 3. – С. 72 – 78.
7. Алтунин В.В. Метод расчета термодинамических свойств смесей реальных газов по ограниченному количеству исходных опытных данных / В.В. Алтунин // Теплоэнергетика. – 1963. – № 4. – С. 78 – 84.
8. Теплофизические свойства фреонов // В.В. Алтунин, В.З. Геллер, Е.А. Кременевская, И.И. Перельштейн, Е.К. Петров. – Под ред. С.Л. Ривкина – М.: Изд-во стандартов, 1985. – в двух томах.

## ПРОБЛЕМЫ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭБ АЭС

Лавриненко С.В.

Научный руководитель: Беляев Л.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [serg86@tpu.ru](mailto:serg86@tpu.ru)

Произошедшая 11 марта 2011 г. природная катастрофа в Японии, вызвавшая аварию на японской АЭС "Фукусима-1", стала важнейшим событием в истории мировой атомной энергетики. Германия, Бельгия, Италия, Швейцария и др. страны, обладающие ядерными технологиями, пересматривают решение относительно своих планов использования атомной энергии. Это означает, что в случае принятия политического решения о прекращении эксплуатации энергоблоков, выработавших свой ресурс, потребуется массовый вывод их из эксплуатации.

Вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС, как любого ядерного или радиационно опасного объекта, является неотъемлемой и неотвратимой стадией его жизненного цикла. Сущность вывода из эксплуатации АЭС состоит в последовательной реализации комплекса административных и технических мер, имеющих целью прекращение всякой деятельности, связанной с функциональным назначением объекта, и его преобразование в экологически безопасное состояние, не требующее контроля со стороны надзорных органов.

В соответствии с ОПБ-88/97 для энергоблока АЭС это означает проведение комплекса мероприятий после удаления ядерного топлива, исключающих использование блока в качестве источника энергии и обеспечивающих безопасность персонала, населения и окружающей среды.

На данный момент в мире работает 441 энергоблоков АЭС мощностью свыше 350 ГВт, более 20 ядерных энергоблоков строится, свыше 110 энергоблоков АЭС и 380 исследовательских реакторов различного назначения уже остановлены или находятся в процессе подготовки к выводу из эксплуатации

Вывод из эксплуатации может быть вызван следующими причинами [2]:

- истощением планового срока службы; аварией, после которой эксплуатация невозможна или нецелесообразна;
- изменением требований надёжности и безопасности эксплуатации, которые невозможно или нецелесообразно удовлетворить в рамках существующей конструкции;
- экономической нецелесообразностью дальнейшей эксплуатации;
- политической ситуацией в стране.

Как показала мировая практика, вывод из эксплуатации требует значительных интеллектуальных и материальных затрат, сбалансированного планирования, специальной нормативно-правовой базы, тщательной организации, координации и контроля

работ, создания специальной инфраструктуры, выработки инновационных инженерных решений и высокой квалификации персонала [3-7].

В мировой практике используются три варианта вывода АЭС из эксплуатации:

- отсроченный демонтаж - надёжная консервация с последующим демонтажем;
- немедленный демонтаж - полное удаление;
- промежуточный вариант - частичный демонтаж (частичное удаление и надёжная консервация оставшихся радиоактивных элементов) АЭС.

Немедленный демонтаж имеет ряд преимуществ: возможность использовать на демонтаже персонал АЭС и имеющееся там технологическое оборудование. Отсроченный демонтаж обладает существенным недостатком: после отсрочки в 40 лет на АЭС придут люди с другой технологической культурой, а также неизбежно будет утрачена часть информации об объекте. С другой стороны, в случае отложенного демонтажа в течение длительного времени выдержки остановленных реакторов будут разработаны новые технологии и технические решения, которые позволят более эффективно выполнять работы.

*Вывод из эксплуатации российских энергоблоков АЭС.*

На сегодняшний день в России эксплуатируются 10 АЭС с 32 энергоблоками, которые обеспечивают около 16% потребностей страны в электроэнергии по цене около 45,7 коп./кВт.ч (что на ~13-15% ниже среднего тарифа продаж энергии на теплоэлектростанциях (ТЭС)). Из них 4 находятся в стадии подготовки к выводу из эксплуатации; кроме того, 6 энергоблоков строятся. Из общего числа энергоблоков 16 оснащены реакторами типа ВВЭР (6 - реакторами ВВЭР-440 и 10 - реакторами ВВЭР-1000), 11 - реакторами типа РБМК-1000, 4 - реакторами типа ЭГП (Билибинская АТЭЦ) и 1 блок - реактором на быстрых нейтронах БН-600.

По приблизительным оценкам, общие затраты на вывод из эксплуатации и демонтаж одного ядерного энергоблока составят от 20 до 30 % строительства сопоставимого нового. Существенное влияние на расходы оказывают национальные особенности – сюда относится объем требуемых работ, а также способы обращения с РАО. Общие затраты во многом зависят от количества РАО, составляющих (5-20)\*10<sup>3</sup> т, методов их переработки и отделения от отходов, использование которых допускается.

Все подлежащие в ближайшее время выводу из эксплуатации российские энергоблоки создавались в период централизованной плановой экономики. В те времена финансовым аспектам вывода АЭС

из эксплуатации не уделялось должного внимания. Предполагалось, что эти проблемы будут решены через централизованное планирование и на бюджетные средства. Поэтому не создавались специальные фонды, аккумулирующие средства на вывод АЭС из эксплуатации, и до настоящего времени отсутствует государственная поддержка работ по выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС.

Таблица 1. Структура затрат на вывод из эксплуатации энергоблока ВВЭР-440

№	Мероприятия	Затраты	
		Млн \$	%
1	Планирование и руководство	2,17	1
2	Подготовка к выводу из эксплуатации	16,25	9
3	Обработка активированных материалов	8,53	5
4	Демонтаж радиоактивного оборудования	66,54	39
5	Упаковка РАО в контейнеры	2,04	1
6	Обращение с РАО	11,00	6
7	Текущие затраты	60,00	36
ИТОГО		166,53	100

Все работы по снятию АЭС с эксплуатации финансируются из резерва обеспечения вывода из эксплуатации АЭС, который формируется отчислениями от выручки, получаемой концерном "Росэнергоатом" от реализации товаров и услуг. Сейчас норматив отчислений составляет 1,6 %, что явно недостаточно. Средства Резерва обеспечения вывода из эксплуатации АЭС будут расходоваться только на финансирование работ по выводу из эксплуатации и не включают затрат на социальные и иные программы. Примерный перечень работ, финансирование которых должно осуществляться из Резерва, приведен выше в табл. 1. Финансирование строительства централизованного хранилища ОЯТ для длительного хранения ОЯТ реакторов РБМК-1000 ведется из федерального бюджета.

Для пополнения резерва подготовлен и направлен в Правительство проект Постановления об его увеличении до 2,2 %. Дополнительным источником поступления средств в Резерв обеспечения вывода из эксплуатации АЭС является процедура продления срока эксплуатации энергоблоков.

По оценкам специалистов МАГАТЭ, проведенных в начале 90-х гг., затраты на снятие АЭС с эксплуатации составляют ~ 12 % от затрат на ее строительство [8]. Норматив отчислений оказался недостаточный.

По данным анализа, средняя стоимость вывода из эксплуатации энергоблока с реактором ВВЭР-440 составляет 350 млн \$ при немедленном демонтаже и 300 млн \$ при демонтаже через 40 лет.

*Выводы:*

1. Вывод из эксплуатации объектов атомной энергетики является актуальным и наукоёмким направлением развития в области использования атомной энергии.
2. В России широко распространены уран-графитовые реакторы. Утилизации загрязнённого графита закладывает неопределённость в проект. В связи с этим в качестве базового варианта вывода из эксплуатации реакторов РБМК-1000 принят вариант долговременного хранения.
3. За 10-15 лет, время проведения работ по продлению сроков эксплуатации энергоблоков АЭС, необходимо обеспечить создание и завершение разработки основных проектно-конструкторских и технологических решений и на их основе осуществить подготовку проведения промышленного вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии.

#### Список литературы:

1. ПНАЭ Г-01-011-97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97.
2. Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д., Никитин В.С. Вывод из эксплуатации объектов использования атомной энергии. М.: Изд-во ООО "НИПКЦ Восход-А", 2009.
3. Концепция вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС, выработавших проектный ресурс: Предложение общественных экологических организаций / Бодров О., Муратов О., Попова Л. и др. СПб., 2007.
4. Нечаев А. Ф. Размышления по поводу вывода из эксплуатации ядерных объектов. - Атомная стратегия - XXI, 2004, № 8(13).
5. Концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов. Утверждена Федеральным агентством по атомной энергии 4/II 2005 г. СПб.: ВНИ-ПИЭТ, 2005.
6. Кузнецов В.М. Чему учит чужой опыт? - Мировая энергетика, 2005, № 5.
7. Кузнецов В.М. Опасный возраст. - Мировая энергетика, 2005, № 7 - 8.
8. Nuclear Power Reactors in the World. - Issue 2. Vienna: IAEA, 2002.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТУРБИН ВЛАЖНОГО ПАРА

Лавриненко С.В.

Научный руководитель: Беляев Л.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [serg86@tpu.ru](mailto:serg86@tpu.ru)

Повышение единичных мощностей паровых турбин осуществляется за счет роста начальных параметров пара и увеличения длины лопаток последних ступеней турбин. В связи с этим остро стоит вопрос решения целого ряда технических и технологических проблем.

Обеспечение надежности и ресурса работы паровых турбин большой мощности в значительной степени связано с повышением износостойкости лопаточного аппарата, подвергающегося в процессе эксплуатации различным коррозионным воздействиям, в том числе коррозионному растрескиванию, а также абразивной и каплеударной эрозии (рис. 1). Что обуславливает необходимость улучшения качества рабочего тела, снижения степени влажности на периферии влажно-паровых ступеней, применения более совершенных конструктивных материалов, разработки эффективных защитных покрытий. В настоящее время ведущие турбиностроительные фирмы разрабатывают новые влажно-паровые ступени мощных турбин со сверхдлинными лопатками (Таблица 1).

Длина находящихся в эксплуатации стальных рабочих лопаток последних ступеней достигает 1200 мм. Разрабатываемые титановые лопатки будут иметь длину 1500 мм при частоте вращения ротора турбины 50 Гц, что предопределяет увеличение окружных скоростей вращения таких лопаток на периферии влажно-паровых ступеней до 900 м/с и, соответственно, совершенно новый уровень актуальности проблемы эрозии лопаточных материалов.



Рис. 1. Лопатки ротора паровой турбины 5-й ступени (К-300, К-500) после эксплуатации (характерный вид эрозионных повреждений)

Большинство способов повышения эрозионной стойкости заключается в защите поверхностей входных и выходных кромок рабочих лопаток влажно-паровых ступеней турбин от высокоскоростного каплеударного воздействия. С некоторой долей условности эти способы можно разделить на

две большие группы: активные и пассивные. Активные способы направлены на снижение степени влажности и уменьшение размеров жидких частиц двухфазного потока в последних ступенях турбин, что в той или иной степени устраняет собственно причину эрозионного износа. Пассивные способы в первую очередь ориентированы на улучшение свойств поверхностных слоев (упрочнение) и создание различного рода износостойких покрытий. К этой же группе относят конструкторско-технологические мероприятия, которые в результате оптимального выбора конструктивных материалов с учетом их эрозионной стойкости, улучшения структуры традиционных конструктивных материалов и использования эффективных проектных конструкторских и технологических решений обеспечивают повышение эрозионной стойкости элементов проточных частей, эксплуатирующихся в условиях высокоскоростного воздействия двухфазного потока. Несмотря на достаточно большое число разработанных пассивных способов повышения эрозионной стойкости, широкое применение нашли только некоторые из них (использование стеллитовых пластин, упрочнение поверхностных слоев, формирование износостойких покрытий и др.). Самый распространенный способ - припайка или приварка стеллитовых пластин имеет весьма серьезные недостатки: ухудшение газодинамических характеристик профилей лопаток, высокая стоимость и технологические трудности при его реализации. Кроме того, довольно часто происходит отрыв припаянных пластин, каждая из которых повреждает от одной до нескольких трубок конденсатора со всеми вытекающими из этого последствиями. При приварке стеллитовых пластин нередки случаи образования концентраторов напряжений, которые являются причиной появления трещин и отрывов фрагментов рабочих лопаток в процессе эксплуатации турбин. Использование способов, базирующихся на упрочнении поверхности, а также на формировании, в частности, газотермических покрытий, приводит к невысоким показателям эрозионной и коррозионной стойкости, а в случае газотермических покрытий и низким адгезионным характеристикам, образованию концентраторов напряжений. Общий недостаток всех этих способов - принципиальная невозможность их применения для защиты выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин. Перечисленные недостатки традиционных способов защиты от эрозии практически полностью закрывают перспективу их использования для сверхдлинных лопаток турбин нового поколения.

Таблица 1. Основные характеристики проектируемых (\*) и находящихся в эксплуатации сверхдлинных рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин с частотой вращения 50 Гц [1]

Разработчик	Длина, мм	Материал	Кольцевая площадь выходного потока, м	Соотношение между средним диаметром и длиной	Окружная скорость на периферии, м/с
ЛМЗ	1500*	Титан	17,9	2,50	832
Siemens	1423*	—«—	16,0	2,50	785
Mitsubishi	1372*	—«—	14,6	2,50	747
Alstom	1360*	—«—	14,7	2,50	754
GE/ Toshiba	1219	Сталь, титан	11,9	2,56	680
Mitsubishi	1219	Сталь	11,3	2,44	655
ABB	1200	Сталь, титан	12,2	2,70	697
ЛМЗ	1200	Титан	11,3	2,50	660
Siemens	1146	Сталь	12,5	3,03	720
Alstom	1130	—«—	10,5	2,63	642
Турбоатом	1100*	—«—	10,4	2,78	645
Hitachi	1092	—«—	10,1	2,70	634
Mitsubishi	1030	—«—	9,4	2,78	618

Эрозия конструкционных материалов при каплеударном воздействии - давно известная и достаточно хорошо изученная проблема. Применительно к паровым турбинам эрозионный износ - весьма сложный, многофакторный процесс разрушения функциональных поверхностей конструкционных материалов, обусловленный интенсивным высокоскоростным взаимодействием вращающихся рабочих лопаток, имеющих сложную конфигурацию, с частицами жидкой фазы различного размера, движущимися с разной скоростью, при переменной степени влажности двухфазного потока в осевом, окружном и радиальном направлениях в проточной части турбины и постоянно изменяющемся рельефе эродируемых поверхностей.

Известно, что расчетная (диаграммная) влажность пара для последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД) мощных паровых турбин находится на уровне 10...12 %. В реальности же распределение степени влажности по высоте ступени значительно отличается от среднедиаграммной и на периферии может превосходить это значение в 3-4 раза [2-6].

Структура и скорость движения частиц жидкой фазы в зазоре между сопловой и рабочей решетками последних ступеней турбин предопределяются местом появления в проточной части первичной влаги при конденсации пара, образованием крупнодисперсной влаги из-за срыва жидких пленок с поверхностей лопаток и других элементов проточной части турбин, ее взаимодействием с поверхно-

стями лопаток, в том числе с поверхностями, по которым движутся жидкие пленки, конструктивными особенностями ступеней и режимными параметрами турбины. Приходится констатировать, что на сегодняшний день отсутствуют достоверные эксплуатационные данные о реальных характеристиках жидкой фазы двухфазного потока в зазоре между сопловой и рабочей решетками последних ступеней. В связи с этим по-прежнему остается острой необходимостью разработки способов и уникального оборудования для измерения размеров и скоростей частиц жидкой фазы, определения реальной степени влажности по высоте ступеней при различных режимах эксплуатации паровых турбин.

#### Выводы:

1. В настоящее время ведущие турбиностроительные фирмы разрабатывают новые влажно-паровые ступени мощных турбин со сверхдлинными лопатками, что, в свою очередь, предопределяет совершенно новый уровень актуальности проблемы эрозии лопаточных материалов из-за существенного увеличения окружных скоростей на периферии проектируемых рабочих лопаток.
2. На сегодняшний день отсутствуют достоверные натурные данные о характеристиках жидкой фазы двухфазного потока в окружном, осевом и радиальном направлениях между сопловой и рабочей решетками последних ступеней мощных турбин. В связи с этим по-прежнему остается острой необходимостью разработки способов и оборудования для измерения размеров и скоростей частиц жидкой фазы, определения реальных значений степени влажности по высоте ступеней при различных режимах эксплуатации паровых турбин.

#### Список литературы:

1. Leyzerovich A.S. Steam turbines for modern fossil-fuel power plants. Fairmont Press, 2008.
2. Гонсеровский Ф.Г., Силевич В.М. Продление срока службы узлов деталей проточной части турбин ТЭС и АЭС // Тяжелое машиностроение. 2002. № 10. С. 59-63.
3. Орлик В.Г., Качуринер Ю.Я., Червонный В.Ф. Эрозия рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин на пусковых и малорасходных режимах // Электрические станции. 2007. № 4. С. 6-10.
4. Симою Л.Л., Эфрос Е.И., Гуторов В.Ф. Влияние режимных факторов на интенсивность эрозионных повреждений лопаточного аппарата теплофикационных турбин // Электрические станции. 2000. № 10. С. 12-18.
5. Фаддеев И.П. Эрозия влажно-паровых турбин. Л.: Машиностроение, 1974.
6. Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Машиностроение, 1992.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТАЛОВСКОГО УГЛЯ

Мазаник А.С., Табакаев Р.Б.

Научный руководитель: Субботин А.Н., д. ф.-м. н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [Nucleariya@pochta.ru](mailto:Nucleariya@pochta.ru)

Ежесезонное увеличение цен на основные энергоносители, ввозимые на территорию Томской области из соседних регионов, актуализирует задачу привлечения собственных источников более дешевых энергоресурсов. Одним из таких объектов является Таловское бурогольное месторождение, которое оценивают как относительно крупное с прогнозными ресурсами около 3,6 млрд. тонн. По прогнозным оценкам добыча угля может составить 10...15 млн. тонн в год, что позволит перевести энергетику местного значения на собственное топливо. Важность данного направления подтверждается также перспективностью разработки Таловского угольного месторождения для создания в регионе новых металлургических мощностей на основе Бакчарского железорудного месторождения. И хотя Таловское месторождение по ряду параметров является источником низкосортного топлива, не исключаются такие варианты использования, когда Таловский уголь все же может конкурировать с привозными. В частности, официальная информация (оценки Томской горнодобывающей компании и Межрегиональной ассоциации «Сибирское соглашение») рассматривает Таловское бурогольное месторождение Томской области как полноценную альтернативу привозным углям.

Месторождение находится на стадии неполной геологической разработки и оценка угля как энергетического топлива позволит судить о возможных масштабах его применения для тепловых электрических станций, отопительных котельных или в химической промышленности. Таловский уголь в сыром виде ограниченно пригоден в качестве самостоятельного энергетического топлива [1].

Однако, возможно использование угля Таловского бурогольного месторождения при подземной газификации (ПГ). Этот метод позволяет превратить низкосортное топливо, содержащее большое количество балласта (влаги и зола) и обладающее низкой теплотой сгорания, в высококачественное газообразное топливо.

На базе математической модели [2] возможно создание теории процесса ПГ Таловского угля. Для этого необходимы теплофизические параметры угля, в том числе и его теплоемкость.

Теплоемкость образцов  $c_p$  определялась методом динамического с-калориметра [3] при помощи измерителя теплоемкости ИТ-С-400. Исследуемый образец помещался в ампулу. После подачи напряжения на нагреватель измерительная ячейка в режиме регулярного нагрева разогревалась до верхней предельной для каждого образца температуры. Во время разогрева с помощью нагревателя

поддерживались адиабатические условия (нулевая разность температур) между ампулой и колпаком охранным. В процессе непрерывного разогрева на различных уровнях температуры (через 25 К) с помощью вольтметра и секундомера измерялась временное запаздывание температуры ампулы по отношению к температуре основания.

Градуировка измерителя. Градуировка заключалась в экспериментальном определении тепловой проводимости тепломера  $\kappa_T$ . Для этого проводились эксперименты с пустой ампулой.

Тепловая проводимость тепломера определялась по следующей формуле:

$$\kappa_T = \frac{C_{\text{обрми}}}{\overline{\tau_{\text{тн}}} - \overline{\tau_{\text{т}}^0}},$$

где  $C_{\text{обрми}}$  – полная теплоемкость медного образца,

Дж/(кг·К);  $\overline{\tau_{\text{тн}}}$  – среднее значение времени запаздывания на тепломере в экспериментах с медным

образцом, с;  $\overline{\tau_{\text{т}}^0}$  – среднее значение времени запаздывания на тепломере в экспериментах с пустой ампулой, с.

Среднее значение времени запаздывания на тепломере определялось как среднее арифметическое из экспериментов. Среднее значение запаздывания на тепломере в экспериментах с медным образцом находилось по формуле:

$$\overline{\tau_{\text{тн}}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{\text{тн}i}}{n},$$

где  $\tau_{\text{тн}i}$  – измеренное время запаздывания на тепломере в экспериментах с медным образцом, с;  $n$  – число измерений ( $n=6$ ).

Аналогичным образом определялось среднее значение времени запаздывания на тепломере в экспериментах с пустой ампулой по следующей формуле:

$$\overline{\tau_{\text{т}}^0} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{\text{т}i}^0}{n},$$

где  $\tau_{\text{т}i}^0$  – измеренное время запаздывания на тепломере в эксперименте с пустой ампулой, с.

Полная теплоемкость медного образца вычислялась по формуле

$$C_{\text{обрми}} = c_{\text{м}} \cdot m_{\text{обрм}}$$

где  $c_{\text{м}}$  – табличное значение удельной теплоемкости меди, Дж/(кг·К);  $m_{\text{обрм}}$  – масса медного образца, кг.

Вычисленные значения  $K_T, \overline{T_T^0}$  – заносились в таблицу. Расчет удельной теплоемкости образца при различных температурах проводился по формуле:

$$c_{T_{toi}} = \frac{K_T}{m_0} (T_{T_{toi}} - \overline{T_T^0}),$$

где  $c_{T_{toi}}$  – удельная теплоемкость образца при температуре  $T$  в  $i$ -ом опыте ( $i=1,6$ );  $T_{T_{toi}}$  – время запаздывания температуры на тепломере в экспериментах с образцом, с,  $K_T, \overline{T_T^0}$  – постоянные прибора, полученные в результате его градуировки, выбирались при соответствующих температурах.

Расчитанные значения  $c_{T_{toi}}$  заносились в таблицу 1. Эти значения проверялись, на наличие промахов и пригодность для расчетов.

Таблица 1

T, К	опыт №1		опыт №2		опыт №3	
	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$
1	2	3	4	5	6	7
298	18,65	1015,82	19,13	881,48	17,73	718,93
323	22,7	1820,92	20,09	1031,33	22,47	1512,22
348	22,34	1781,48	24,05	1698,77	23,52	1723,65
373	22,02	1819,29	23,65	1732,30	22,46	1631,77
398	31,65	4272,37	26,59	2456,77	27,61	2830,76
423	34,64	4773,51	36,62	4149,00	34,05	3958,69
448	30,63	4176,47	32,74	3726,21	32,9	4015,34
473	28,42	3464,78	28,37	2753,53	28,14	2900,61
498	22,87	2443,21	25,55	2422,08	25,84	2643,98
523	21,4	2009,63	24,73	2183,22	22,55	1927,15
T, К	опыт №4		опыт №5		опыт №6	
	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$	$\tau_{toi}$	$c_{toi}$
298	22,22	1266,73	17,91	659,88	18,13	728,89
323	25,05	1726,75	22	1263,28	21,87	1311,98
348	23,92	1582,78	24,27	1636,56	23,79	1648,82
373	23,78	1655,59	23,57	1621,33	23,89	1765,66
398	30,05	2930,35	25,4	2107,27	28,36	2776,05
423	38,49	4220,47	36,3	3862,13	34,71	3800,24
448	36,35	4155,76	32,02	3387,92	33,47	3845,69
473	27,76	2497,65	29,57	2795,10	29,6	2954,16
498	25,74	2316,91	24,27	2071,47	26,38	2557,18
523	22,71	1727,26	22,10	1626,83	23,02	1876,18

По данным таблицы 1 вычислялось среднее значение теплоемкости и погрешность измерений.

Таблица 2

T, К	$c_{T_{toi}}$	$\Delta, \%$
298	878,62	9,28
323	1444,41	7,53
348	1678,68	3,05
373	1704,32	3,55
398	2895,59	8,48
423	4127,34	4,86
448	3884,56	6,05
473	2894,31	2,81
498	2409,14	5,44
523	1891,71	5,17

Из таблицы 2 видно, что погрешность расчетов составляет менее 10 %. На рисунке 1 приведены зависимости средней теплоемкости от температуры. Анализируя экспериментальную кривую (ряд 1), приходим к выводу, что при температуре превышающей 423 К происходит существенное уменьшение теплоемкости, что объясняется процессом коксования и увеличением доли газовой фазы.

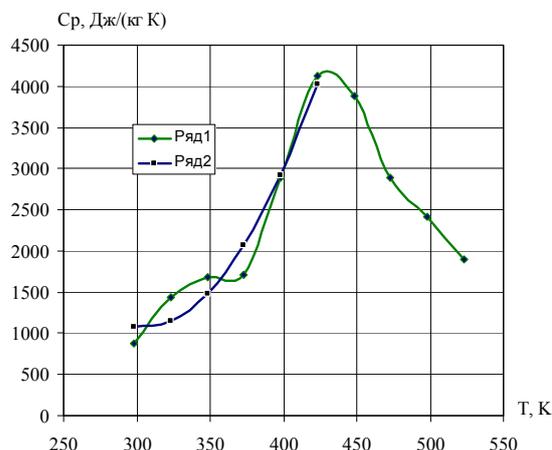


Рис. 1. Зависимость теплоемкости Таловского угля от температуры

Для математической модели нужна зависимость истинной теплоемкости угля (теплоемкость угля без пор) от температуры, поэтому экспериментальные данные для температуры угля не превышающей 423 К, были представлены в виде аналитического выражения. Применяя метод наименьших квадратов, получена для теплоемкости Таловского угля следующая зависимость:

$$c_p(T) = 19830,1 - 123,88 \cdot T + 0,2045 \cdot T^2, \text{ Дж/(кг·К)}. \quad (1)$$

Изменение теплоемкости с возрастанием температуры (1) (при  $298 \text{ К} \leq T \leq 423 \text{ К}$ ) приведено на рисунке 1 (ряд 2).

Таким образом, получена аналитическая зависимость коэффициента теплоемкости Таловского угля от температуры, которую можно использовать при математическом моделировании процессов подземной газификации угля.

### Список литературы:

1. Казакова О.А. Исследование состава минеральной части угля Таловского месторождения Томской области как энергетического топлива / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск : Изд-во ТПИ, 2006. – 15 с.
2. Кузнецов Г.В., Субботин А.Н. Тепломассоперенос в условиях подземной газификации угля // Тепловые процессы в технике. – 2010. – Т. 2, № 9. – С. 422–426.
3. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме.-М: Энергия, 1972.-143 с.

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА В УСЛОВИЯХ РАЗРУШЕНИЯ ОБМУРОВКИ

Майнгардт В.А.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [mainvik@bk.ru](mailto:mainvik@bk.ru)

Исследование тепловых режимов обмуровки котельных агрегатов является неотъемлемой частью работ при создании современной и энергоэффективной тепловой защиты котельных агрегатов.

Целью данной работы является математическое моделирование, численное исследование и анализ тепловых потерь через ограждающие конструкции котельного агрегата при нарушении целостности обмуровки.

В данной работе была рассмотрена многослойная обмуровка котлоагрегата состоящая из трех слоев с наличием в них высокотеплопроводных крепежных элементов. С наружной стороны крепежные элементы уплотнены асбеститом. Температура со стороны футеровки составляет 350 °С, а температура окружающей среды 30 °С [1].

Сначала была рассмотрена целостная обмуровка, затем обмуровка с разрушением и разрушением возле крепежного элемента. Разрушение составляет 1,5%.

Рассматриваемая задача решена с помощью пакета моделирования COMSOL Multiphysics 3.5a с использованием средств и функций модуля General Heat Transfer.

Модуль General Heat Transfer предназначен для моделирования задач теплопередачи в произвольной комбинации механизмов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).

Основные показатели, характеризующие физико-технические свойства теплоизоляционных материалов, следующие: теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость. Свойства для данных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства материалов

Слой	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , Дж/(кг·К)
Шамотный кирпич	1,28	1800	950
Красный кирпич	0,77	1800	880
Металлическая обшивка	47	7800	462
Чугун	56	7800	500
Асбестит	0,16	850	816

На рисунке 1 представлена конструкция многослойной обмуровки котлоагрегата.

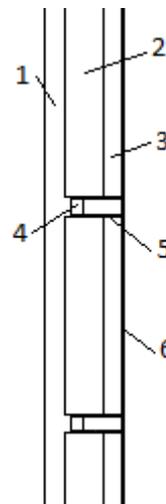


Рисунок 1. Конструкция многослойной обмуровки котлоагрегата

1 - шамотного кирпича; 2 - 1-ый слой красного кирпича; 3 - 2-ой слой красного кирпича; 4 - чугунный крепежный элемент; 5 - уплотнитель из асбестита; 6 - металлическая обшивка.

Геометрические размеры взяты для котла ДКВр-10-13: Высота обмуровки составляет 6,3 м. Слой из шамотного кирпича составляет 0,125 м, а в местах крепежных элементов 0,25 м. Первый слой красного кирпича 0,25 м, второй слой 0,125 м. Толщина металлической обшивки 0,002 м. Высота крепежного элемента составляет 0,1 м, а длина 0,34 м. Расстояние между крепежными элементами 1,33 м [2].

На рисунке 2 представлены графические изображения обмуровки котлоагрегата с изотермическими линиями. Представлены три варианта обмуровки, два из которых с разрушениями. В первом случае разрушение расположено между крепежными элементами, а во втором непосредственно возле него.

Целью исследования являлся расчет тепловых потерь обмуровки котлоагрегата без каких-либо разрушений и с разрушениями, сравнение их между собой, и сделать вывод по полученным данным.

В таблице 2 приведены результаты расчета тепловых потерь для каждого варианта обмуровки котлоагрегата.

Таблица 2. Результаты расчета тепловых потерь

Вариант обмуровки	$q$ , Вт
а	3581,66
б	3851,5
в	3990,4

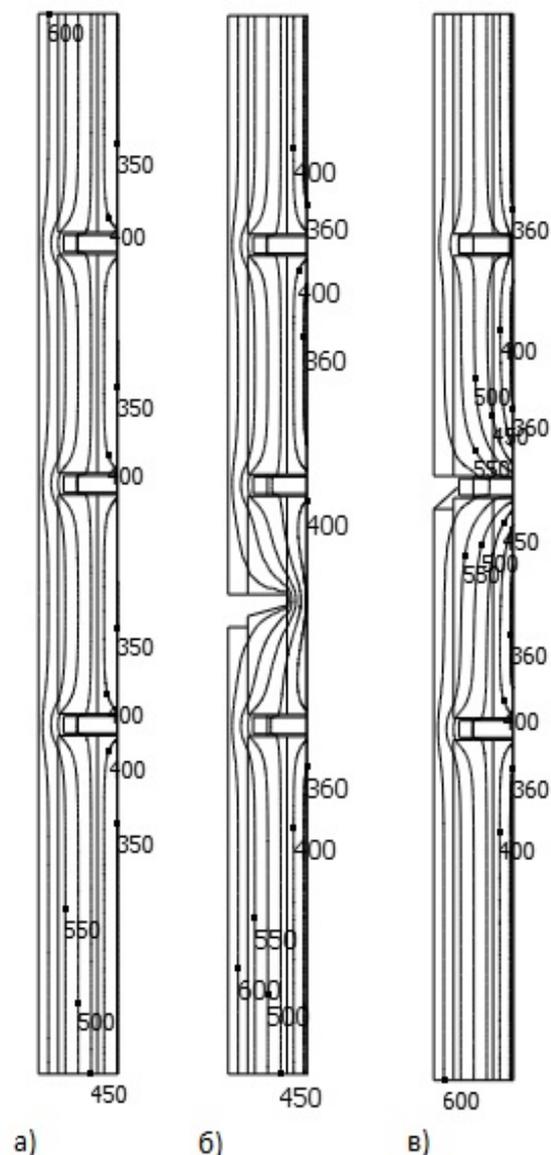


Рисунок 2. Распределение изотерм в обмуровке котлоагрегата

а - целостная обмуровка; б - обмуровка с разрушением; в - обмуровка с разрушением возле крепежного элемента.

Далее проведем расчет отклонения теплового потока разрушенной обмуровки от целостной:

для обмуровки с разрушением:

$$\Delta = \frac{q_b - q_a}{q_b} \cdot 100\% = \frac{3851,5 - 3581,66}{3851,5} \cdot 100 = 7\%;$$

для обмуровки с разрушением возле крепежного элемента:

$$\Delta = \frac{q_s - q_a}{q_s} \cdot 100\% = \frac{3990,4 - 3581,66}{3990,4} \cdot 100 = 10,2\%.$$

Результаты расчета, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что при разрушении 1,5% обмуровки тепловой поток увеличится на 7% при разрушении кирпичной кладки между крепежными элементами, и на 10% при разрушении кирпичной кладки возле крепления.

Можно сделать вывод, что со стороны футеровки, тепловой поток увеличивается интенсивнее при разрушении кирпичной кладки около высокотеплопроводных материалов.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).*

#### Литература:

1. Логунов Ф. Г. Обмуровка котельных агрегатов. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 392 с.
2. Залкинд Е. М. Материалы обмуровки и расчет ограждений паровых котлов. М.: Энергия, 1972. - 184 с.

## УГОЛЬНО-ВОДОРОДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ПАРОВЫМИ ТУРБИНАМИ

Максименков А.А.

Научный руководитель: Калугин Б.Ф. к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [maxi.men@mail.ru](mailto:maxi.men@mail.ru)

Мы живем во время энергосбережения и экологической обеспокоенности. Но, в тоже время, на всем земном шаре с каждым днем увеличивается количество электрических приборов, важных и нужных для жизнедеятельности человечества. Каким образом найти выход из сложившейся ситуации? Ответ очевиден. Требуется разработка и внедрение новых технологий.

К настоящему времени резкий рост стоимости топлива и требования к экологическим показателям создали условия, вынуждающие внедрять высокоэффективные технологии производства электроэнергии с электрическим коэффициентом полезного действия ( $\eta_{э}$ ) 50 % и более.

Существующие крупные (более 300 МВт) парогазовые установки при работе паровых турбин в конденсационном режиме имеют  $\eta_{э}$  до 60 %. Осваиваются рабочие температуры газа на входе в турбину 1500 °С. Проектируются ПГУ с температурой до 1700 °С и охлаждением проточной части водяным паром [1]. (рис. 1).

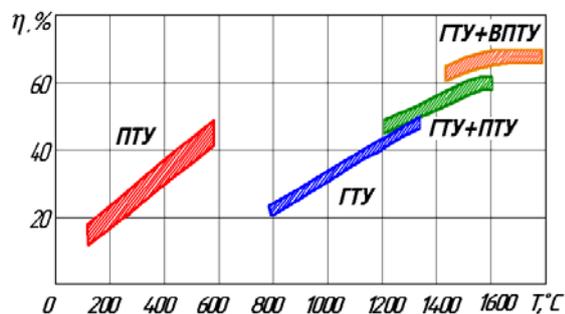


Рис. 1 Зависимость КПД станции от начальной температуры пара на примере различных установок.

Создание энергоэффективных теплоэлектростанций с паровыми конденсационными турбинами и электрическим КПД ( $\eta_{э}$ ) более 50 % является одной из приоритетных задач в энергетике. Достижение таких величин  $\eta_{э}$  возможно лишь при начальных температурах водяного пара более 800 °С и давления более 30 МПа. На достижение указанных характеристик направлены усилия ученых и конструкторов США, стран европейского союза, Японии. Ф

В настоящее время максимальная температура водяного пара ограничена в России величиной 540÷560 °С, а в США, Германии и Японии, 600÷620 °С. Это ограничение прежде все-

го связано с пережогом теплообменных труб в паровых котлах.

Дальнейшее повышение эффективности ТЭС связывают с ростом начальных температур за счет использования водородного топлива. (рис. 2).

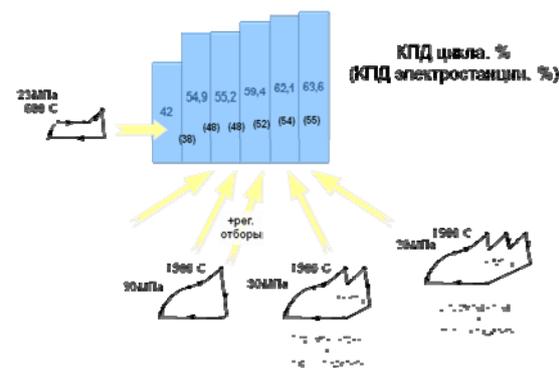


Рис. 2 Зависимость КПД станции от начальной температуры пара и количества промперегревов.

Обратимся к установке, основными элементами тепловой схемы электростанции на комбинированном топливе являются паровой котел, высокотемпературная конденсационная паровая турбина (ВПТУ) с электрогенератором, конденсатор и другое традиционное вспомогательное оборудование (рис 3). Дополнительно в схему включены системы непрерывного производства  $H_2$  из  $CH_4$  (или угля) методом конверсии и  $O_2$  — из воздуха, а также высокотемпературный водородный пароперегреватель (ВВПП).

Использование ВВПП позволяет существенно повысить температуру пара на входе в турбину (с 600÷620 до 1500÷1700 °С), что невозможно при сжигании органического топлива в традиционных паровых котлах из-за пережота труб. Важно и то обстоятельство, что в результате сгорания  $H_2$  и  $O_2$  образуется водяной пар и на выходе из турбины, создав вакуум, можно обеспечить конденсацию пара и удаление неконденсирующихся взрывоопасных газов. [2]

Выход высокотемпературного водородного пароперегревателя должен соединяться с входом в паровую турбину, а выход системы получения водорода по уходящим газам — с газовым трактом теплоутилизационного котла. Выход из теплоутилизационного котла по пару должен быть соединен с промежуточным вводом в паровую турбину и (или) системой охлаждения проточной части паровой турбины.

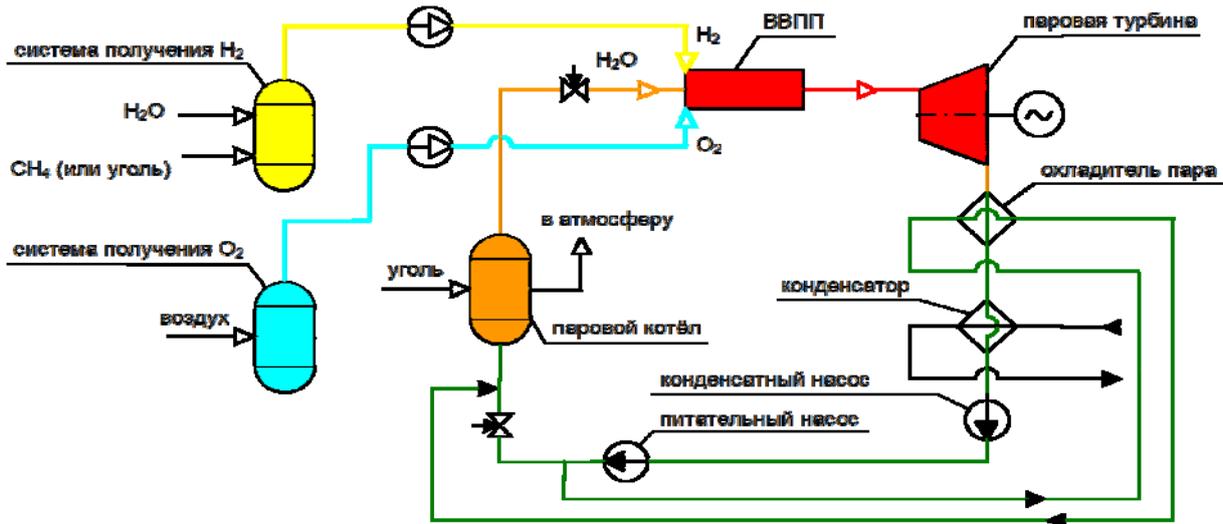


Рис. 3 Принципиальная тепловая схема электростанции с комбинированным топливом.

За счет увеличения температуры пара на входе в турбину и создания вакуума на выходе из паровой турбины возрастает термический КПД цикла, и уменьшаются потери, связанные с появлением влажного пара в последних ступенях турбины.

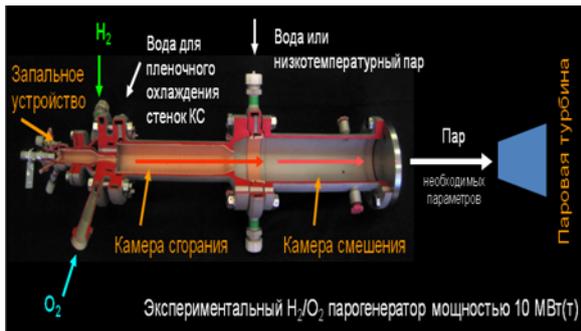


Рис. 4 Устройство  $H_2/O_2$  парогенератора мощностью 10 МВт.

$H_2/O_2$  парогенераторы – новый ключевой элемент водородных энергоустановок паротурбинного цикла. Это компактные, высокоэффективные и высокоманевренные устройства для производства водяного пара высокой температуры (до 1500 °С) и давления (до 7МПа и выше) за счет сжигания водорода в кислороде при стехиометрическом составе и использования в качестве балластного компонента воды и/или водяного пара.

$H_2/O_2$  парогенераторы обеспечивают высокий КПД использования водородного топлива при использовании в автономных системах энергообеспечения и водородных системах аккумулирования энергии на электростанциях.

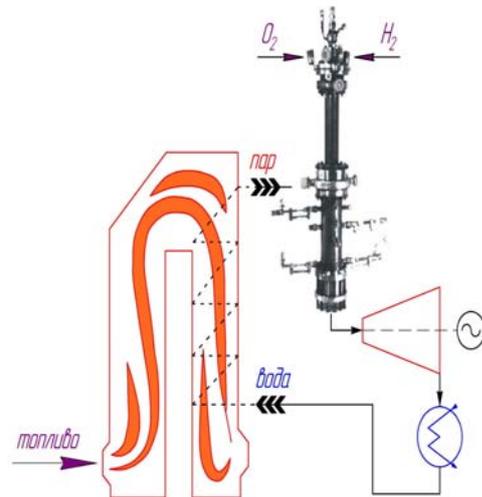


Рис. 5 Принципиальная схема включения парогенератора в установку.

В настоящее время сделаны важнейшие шаги по созданию ВПГУ: изготовлен опытный образец паротурбинной установки и сформирована современная стендовая база для его исследования и совершенствования. Дальнейшее развитие этого направления потребует проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

#### Список литературы:

1. Федоров В.А., Мильман О.О., Шифрин Б.А. Высокоэффективная технология производства электроэнергии с использованием органического и водородного топлив. М.: Изд-во МГТУ, 2007, 155 с.
2. Научно-технические основы высокоэффективного производства электроэнергии с комплексным использованием органического и водородного топлива. Энергетик. 2008. №1. С. 3-6.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ КАЗАХСТАНСКИХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА

Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекмухамет А.

Научный руководитель: Аскарова А.С., д.ф.-м.н., профессор

Казахский национальный университет им. аль Фараби, 050060 г. Алматы, Казахстан, пр. аль Фараби, 71

E-MAIL: [MAXIMOV.V@MAIL.RU](mailto:MAXIMOV.V@MAIL.RU)

Для получения температурных и аэродинамических характеристик в камере сгорания БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ (Казахстан) проведено численное исследование процессов тепломассопереноса, происходящих при сжигании низкосортного пылеугольного топлива марки КР-200.

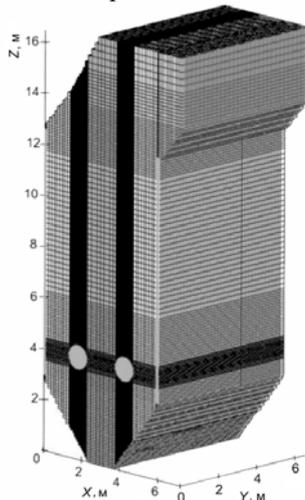


Рис. 1. Общий вид камеры сгорания

Получены профили в составляющих вектора полной скорости в сечении горелок и в продольном сечении камеры сгорания. Представлена зависимость вектора полной скорости по высоте камеры сгорания. Получены профили температуры в указанных сечениях и приведена зависимость температуры потока в зависимости от высоты камеры сгорания.

Котел БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ, рис. 1, оборудован четырьмя пылеугольными горелками, установленными по две горелки с фронта и с тыла в один ярус. В котле сжигается пыль Карагандинского рядового (КР-200) угля, зольностью 35,1 %, выходом летучих 22 %, влажностью 10,6 % и теплотой сгорания 18550 кДж/кг. Исходные данные для расчета приведены в таблице.

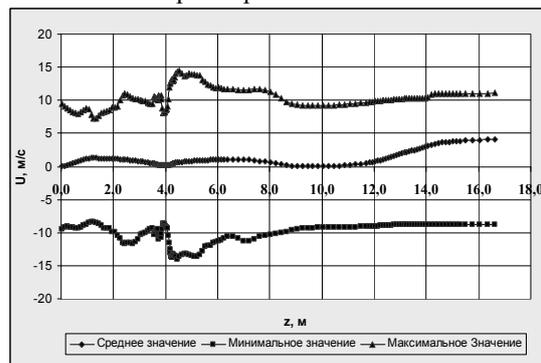
**Таблица.** Исходные данные для расчета аэродинамических и температурных характеристик камеры сгорания котла БКЗ-75

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
Зольность на сухую массу	$A^c$	%	35,1
Выход летучих на горючую массу	$V^r$	%	22

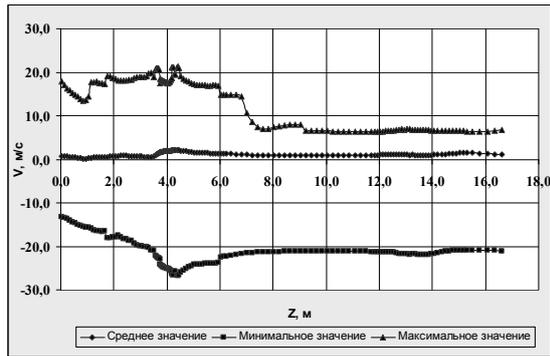
Влажность рабочая	$W^p$	%	10,6			
Теплота сгорания	$Q_H^p$	ккал/кг	4433			
Производительность одной горелки по топливу	$B_r$	т/ч	3,2			
Расход первичного воздуха на котел	$V_{п.в.}$	кг/ч	28233			
Расход вторичного воздуха на котел	$V_{вт.в.}$	кг/ч	78163			
Температура горячего воздуха	$t_{гв.}$	°C	290			
Гидродинамическое сопротивление канала	$\Delta P$	—	67,1			
Присосы в топку	$\Delta \alpha$	—	30,4			
Коэффициент избытка воздуха за топкой	$\alpha_T$	—	2,019			
Механический недожог	$Q_4$	%	13,37			
КПД котла-брутто	$\eta_k$	%	80,88			
Расход топлива на котёл	$B$	т/ч	12,49			
Плотность угля	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1300			
Состав угля						
C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Зола
43,21	3,60	5,24	1,04	1,21	10,60	35,10

Проведенные в данной работе исследования позволили определить основные закономерности распределения аэродинамических (рис. 2-3) и температурных (рис. 4) характеристик во всем объеме топочной камеры.

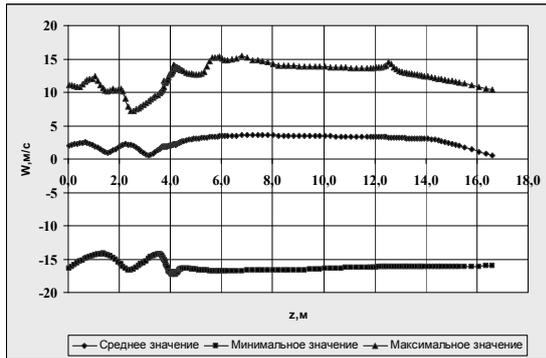
Приведенные рисунки иллюстрируют картину распределения скоростей в топочном пространстве, при помощи которой можно охарактеризовать поведение пылеугольного потока внутри камеры сгорания. Отчетливо видны области подачи топливной смеси через горелки.



А)



Б)



В)

Рис. 2. Распределение: А) - U составляющей, Б) - V составляющей, В) - W составляющей скорости по высоте камеры сгорания

Глубокое взаимное проникновение встречных струй и наличие поперечных градиентов скорости турбулизует поток. Вследствие немного разреженного заполнения области камеры над горелками у передней и задней стен развиваются вихри. Часть восходящего потока направляется на выход из топки. Избыточный расход рециркулирует, образуя у стен в области над горелками вихревые области. Наличие вращения потоков в пристеночной зоне способствует равномерному обогреву поверхностей и снижению ошлакования экранов, что позволяет уменьшить коррозию и тепловой перегрев [2]. По мере удаления от плоскости расположения горелок поле скоростей выравнивается, восходящий поток расширяется, и вихревой характер течения ослабевает.

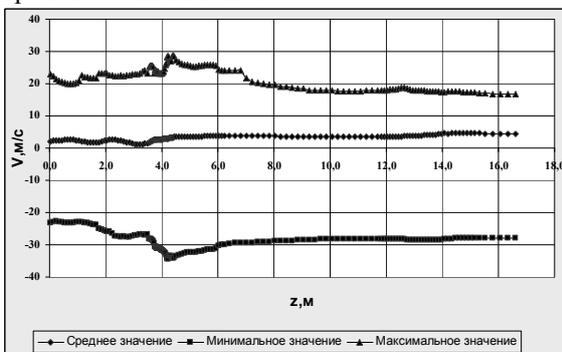


Рис. 3. Распределение вектора полной скорости по высоте камеры сгорания

Горение угольной пыли в топочной камере протекает в неизотермической запыленной газовой струе, распространяющейся в среде горячих топочных газов. Поэтому физические условия горения в турбулентных струях определяются закономерностями распределения температуры и полями скоростей [1].

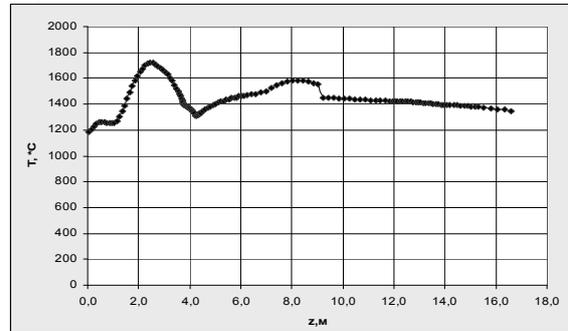


Рис. 4. Распределение температуры по высоте топочной камеры

Аэродинамические условия, создаваемые в топочном пространстве при движении пылеугольных потоков, приводят к тому, что в плоскости подачи топливной смеси и в плоскости симметрии топочной камеры наблюдается максимальный конвективный перенос. Реакции горения здесь идут наиболее интенсивно, с чем связаны значительные изменения температуры в этой области. Вблизи зоны реакции в пламени обнаруживаются пики в распределении температуры и ее градиента. По мере продвижения к выходу топочной камеры температура равномерно падает.

#### Список литературы:

1. Полежаев В.И., Бунэ А.В., Везуб Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье–Стокса. – М.: Наука, 1987. – 256 с.
2. Askarova A.S., Messerle V.E., Nagibin A.O., Ustimenko A.B. Modeling of plasma-assisted coal dust ignition and combustion // Acta Technica. – 2011. – V. 56. – P. 338–355.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТОПОЧНОЙ СРЕДЫ КАМЕРНОЙ ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА УГРУБЛЕННОГО ПОМОЛА

Мамаев А.К., Беткер Т.М., Гиль А.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [betkher.tm@gmail.com](mailto:betkher.tm@gmail.com)

В настоящее время в условиях изменения ценовой политики продаж нефти и природного газа продолжается тенденция повышения интереса к использованию твердого топлива, которая в своей глобальной сути проистекает из ограниченности ресурсов высококалорийного ископаемого углеводородного сырья.

Современные технологии сжигания угля вкупе с развитой системой логистики, связанной с обогащением, складированием и доставкой угля, привели к тому, что киловатт, вырабатываемый на угле, оказывается дешевле, чем получаемый на нефтегазовом топливе. Поэтому угольная энергетика занимает во многих странах преимущественное место в теплоэнергетике и тянет за собой развитие технологий угольной промышленности в целом.

По прогнозам Минэнерго, соотношение цен на уголь и газ к 2020 составит 1:2 [1]. Следовательно, в перспективе доля угля в топливно энергетическом балансе (ТЭБ) будет повышаться, и спрос на уголь в России в связи с изменениями структуры запасов основных энергоносителей будет неизбежно возрастать. Вместе с тем повышение спроса на уголь потребует от энергопредприятий решать вопросы по использованию его непроектных марок. Это вызвано еще и тем, что многие энергетические объекты приурочены к угольным месторождениям, за долгие годы эксплуатации которые приблизились к исчерпанию экономически доступных запасов.

Сложившаяся ситуация и ее развитие диктуют необходимость ориентировать энергетику на более доступные и дешевые виды топлива.

Изложенные обстоятельства мотивируют к поиску и реализации в основном малозатратных путей и вариантов модернизации котельных установок, но обеспечивающих при этом определенную универсальность сжигания различных марок углей и учитывающих современные экологические требования.

Рассмотрены следующие варианты модернизации традиционной топки с тангенциальным расположением горелок: перевод на низкоэмиссионное вихревое сжигание с классическим направлением нижнего дутья (рис. 1, а) и перевод на низкоэмиссионное вихревое сжигание с «пропеллерным» направлением нижнего дутья (рис. 1, б).

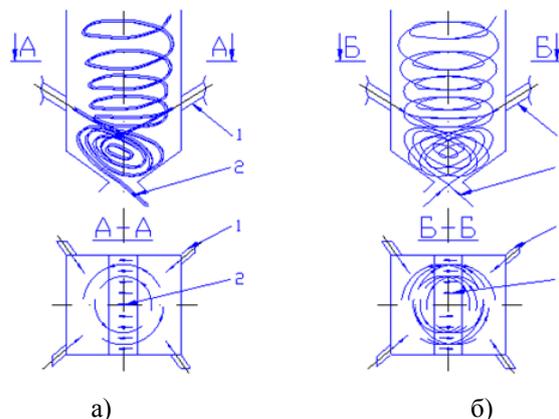


Рис.1. Схема аэродинамики вихревой зоны при модернизации топки с тангенциальным расположением горелок. 1 – горелочные устройства; 2 – устройство нижнего дутья

В качестве объекта исследования выбран котельный агрегат БКЗ-210-140Ф, поскольку данные котлы широко распространены на энергообъектах России.

Топочная камера котла имеет в плане форму, близкую к квадрату с размерами по осям экранных труб 7424×7808 мм, и оборудована четырьмя щелевыми пылеугольными горелками, расположенными по углам топочной камеры в один ярус (h<sub>яр</sub> = 6,5 м) и четырьмя пылесистемами, выполненными по замкнутой схеме с мельницами-вентиляторами.

Исследование топочных процессов проводилось на нагрузку котла 190 т/ч при задействовании в работу всех пылесистем.

В качестве сжигаемого топлива выбран дальневосточный бурый уголь с техническими характеристиками топлива: влажность  $W_p = 40,4\%$ ; зольность  $A_p = 28,7\%$ ; калорийность  $Q_p^* = 2593,7$  ккал/кг. Со степенью помола  $R_{90} = 54,3\%$ .

В качестве инструмента исследования применен пакет прикладных программ FIRE 3D, одна из отечественных разработок, предназначенная для численного моделирования топочных процессов. Уместно отметить, что в данном случае применение численного моделирования в полной мере отвечает принципу малозатратности модернизации котла, поскольку снижаются финансовые затраты за счет ускорения предпроектной проработки и частичного отказа от необходимости проведения дорогостоящих экспериментов, так как имеется возможность оптимизировать конструкцию топочной камеры на основе ее виртуального прототипа.

Как видно из рис. 2а, при первом варианте модернизации наблюдается образование явно выраженного вихря с вертикальной осью вращения. Исследование второго варианта образования данного вихря не выявило (рис. 2, б), очевидно, что данная схема организации аэродинамики препятствует образованию вертикального вихря.

При рассмотрении вертикальных сечений наблюдается образование вихрей с горизонтальной осью вращения: одного для первого варианта (рис. 3, а) и двух разнонаправленных – для второго (рис. 3, б, в).

Однако при увеличении скорости истечения воздуха из устройства нижнего дутья более 8м/с не наблюдается устойчивое движение потоков в горизонтальных вихрях для обоих случаев, что снижает условия надежной работы топочной камеры при организации сжигания углей по рассматриваемым методам.

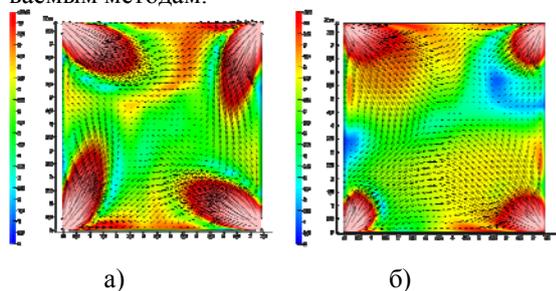


Рис. 2. Визуализация результатов моделирования аэродинамической структуры в горизонтальном сечении топки на высоте 6,5 м: а) вариант №1; б) вариант №2

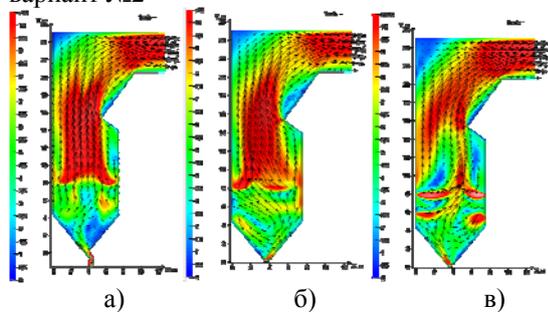


Рис.3 Визуализация результатов моделирования аэродинамической структуры в вертикальном сечении топки: а) вариант №1 (глубина сечения 3,75 м); б), в) вариант №2 (глубина сечения 1,95 м и 5,85 м соответственно)

Аэродинамика топочной среды оказывает большое влияние на неравномерность распределения твердой фазы по сечению топки, что является предпосылкой для наброса шлакозольных частиц на радиационные экранные поверхности нагрева и последующее снижение их тепловой эффективности [2, 3]. По результатам численного моделирования обоих вариантов выполнено изучение параметров среды в трёх разных областях топки: пристенная область – пространство, прилегающее к экранам на расстоянии 1,25–1,3 м; центральная область –

призматическое пространство вдоль вертикальной оси топки со сторонами, отстоящими от экранов на расстояние 2,5–2,6 м; промежуточная область – пространство, заключённое между пристенной и центральной областями.

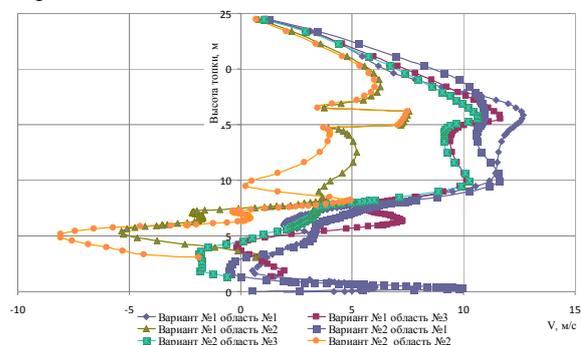


Рис. 4 Значения подъёмной скорости дымовых газов по высоте топки

Анализируя профили графиков подъёмных скоростей, полученные по результатам моделирования (рис. 4), можно отметить, что они достаточно чётко передают аэродинамическую структуру образующихся вихрей в топочном объёме. Так, например, значительный пик подъёмных скоростей в области отрицательных значений, характеризуется активным вихревым движением дымовых газов. Существенный рост скорости в сторону положительных значений говорит об уменьшении влияния вихревого движения и (или) сужении проходного сечения. На выходе из топки значения скорости достигают рекомендуемых значений 5–6 м/с. В результате можно сделать следующие выводы, что на аэродинамическую структуру газозолевых потоков в топочном объёме наибольшее влияние оказывает скоростной режим истечения воздуха из устройства нижнего дутья. Так, при высоких скоростях (более 8м/с) не наблюдается устойчивое движение потоков в горизонтальных вихрях для обоих вариантов, что препятствует надежной работе топочной камеры при сжигании углей по рассматриваемым методам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Отчет "Россия в энергетической сфере" <http://www.inno-expert.ru>
2. Маршак Ю. Л., Козлов С.Г. Исследование пристенной области топочных камер. – Тезисы докладов III Всесоюзной конф. «Влияние минеральной части энергетических топлив на условия работы парогенераторов», т. 1А. – Таллин: ТПИ, 1980, С.116-124.
3. Заворин А.С., Теплухин Е.П., Киселев Н.Б. Распределение минеральных компонентов бурого угля Березовского месторождения в пылеугольном тангенциально закрученном факеле // Известия вузов СССР – Энергетика. – 1986. – №3. – С.89-92.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Мартемьянов С.М., Маслов А.Л., Аверьянов С.В.

Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

В связи с истощением активно разрабатываемых в настоящее время запасов нефти и газа, необходимо всё большее внимание уделять развитию новых методов получения энергоносителей. В этом плане перспективно выглядит освоение месторождений горючих сланцев, запасы которых очень велики по сравнению с запасами нефти и природного газа. Однако как энергетическое сырье горючие сланцы практически не используются из-за нерентабельности существующих технологий из добычи. Решением этой проблемы может стать подземная газификация. Этот принцип предполагает преобразование твердого топлива в газообразную или жидкую фазу непосредственно на месте залегания. Такая технология может оказаться значительно дешевле разработки месторождения шахтным способом.

Основная задача различных технологий подземной газификации твердых топлив – это нагрев пласта. Для этого может использоваться сжигание части породы при подаче окислителя через скважину [1]. Однако для топлив с высокой зольностью, таких как горючие сланцы, такой подход неприменим.

Нагревать подземный пласт можно с помощью электромагнитного поля. Однако поскольку твердые топлива являются диэлектриками, невозможно использовать для этой цели только джоулевы потери электрического тока. Начальный нагрев сланцев можно осуществлять диэлектрическими потерями, которые по мере нагрева пласта будут дополняться джоулевыми за счет увеличения электропроводности  $\sigma$  при росте температуры. Таким образом, нагрев подземного пласта будет происходить между двумя электродами (рис.1), размещенными в скважинах и соединенных с расположенным на поверхности земли высокочастотным генератором  $U$ . Мощность, выделяемая в нагреваемой части сланцев  $P$ , определяется в этом случае в виде двух слагаемых:

$$P(T, f) = kU^2 f \varepsilon_0 \varepsilon(T, f) \operatorname{tg} \delta(T, f) + \sigma(T, f) E_{av}^2(T, f).$$

Здесь  $E_{av} = U/S$  – средняя напряженность электрического поля между электродами на расстоянии  $S$ ,  $f$  – частота,  $k$  – геометрический коэффициент,  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь. Первое слагаемое представляет собой мощность диэлектрических потерь, выделяемую на элементе  $r$  эквивалентной схемы (рис.1), а второе – мощность резистивных потерь, выделяемую на межэлектродном сопротивлении.

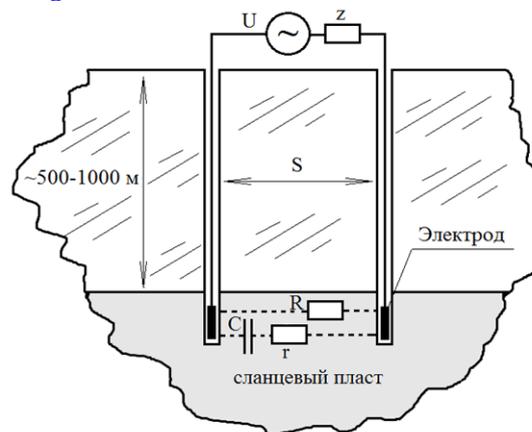


Рис.1 Схема метода подземной газификации

Для стартового нагрева необходимо использовать высокочастотный нагрев в области частот 10-100кГц, где большинство гетерогенных материалов имеют максимальные диэлектрические потери. По мере роста температуры будет возрастать электропроводность, то есть всё большую роль начнут играть потери проводимости.

Мощность тепловой энергии, выделяемой в межэлектродном пространстве пласта, распределяется в соответствии с формулой:

$$P(t) = C(T) \gamma \frac{\partial T}{\partial t} - \alpha(T)(T_g - T_0).$$

Здесь  $\gamma$  – плотность сланцев,  $C$  – удельная теплоемкость сланцев,  $\alpha$  – коэффициент теплоотвода,  $T_0$  – начальная температура пласта. Первое слагаемое показывает энергию, расходуемую на нагрев межэлектродного пространства пласта до температуры пиролиза  $T_g$ . Второе слагаемое отражает изменение температуры за счет теплоотвода теплопроводностью.

Зона образования горючих газов обычно приходится на интервал температур от 400 до 650°C [2]. Учитывая повышенное давление внутри залегающего пласта сланцев на глубине ~500м, следует ожидать снижения температуры их разложения  $T_g$  на ~(100±150)°C. То есть ожидаемая температура разложения сланцев должна составить  $T_g \sim 400^\circ\text{C}$ .

В связи с невозможностью априорного предсказания ни условий эффективного выделения энергии, ни условий потерь энергии за счет теплоотвода, необходимо провести ряд работ исследовательского характера. При этом работу целесообразно построить в соответствии со следующими этапами:

1. измерение диэлектрических и тепловых свойств сланцев;
2. численное математическое моделирование распределения температуры при нагреве;

3. экспериментальное моделирование подземного нагрева в лабораторных условиях.

Проведение предварительных расчетов и численного моделирования невозможно без знания диэлектрических и тепловых свойств горючих сланцев. Проблема усугубляется тем, что свойства породы зависят от температуры и будут изменяться при нагревании. Диэлектрические свойства также зависят от частоты воздействующего напряжения. В связи с этим были исследованы свойства образцов Цзылинского месторождения (КНР). В [3] описана методика и результаты измерения следующих свойств горючих сланцев:

- $\operatorname{tg}\delta = f(\omega, T)$  – тангенс угла диэлектрических потерь;
- $\varepsilon = f(\omega, T)$  – относительная диэлектрическая проницаемость;
- $\rho = f(T)$  – удельное электрическое сопротивление;
- $C = f(T)$  – удельная теплоемкость;
- $\lambda = f(T)$  – коэффициент теплопроводности.

Полученные данные позволяют на основе математической модели рассчитать тепловое поле подземного пласта при нагревании его описанным способом.

Модель, включающая в себя уравнения теплопроводности и химического превращения, была построена в двумерном приближении, что обосновано тем, что теплопроводность вдоль слоев намного превышает теплопроводность в поперечном направлении.

Теплофизические и электрические свойства в плоскости считались постоянными.

Уравнения были записаны в безразмерном виде, и содержали ряд безразмерных параметров.

Численная реализация осуществлялась с использованием неявной схемы расщепления и метода по координатной прогонки. Пример расчета приведен ниже.

Зависимость степени превращения  $\eta$  и безразмерной температуры  $\theta$  от времени в точке с безразмерными координатами  $(1,0)$  (область вблизи одного из электродов) для различных значений параметра  $\xi$ , равного отношению радиуса электродов к расстоянию между ними, показана на рис. 2 и 3 соответственно. Перегиб в температурных кривых вызван поглощением тепла в процессе превращения. Видно, что варьирование параметра  $\xi$  позволяет осуществлять реакцию с различной скоростью. Безразмерное время  $\tau$  соответствует обычному времени  $t$  примерно как  $t = 1400\tau$  с, а безразмерная температура обычной, в градусах Кельвина, как  $T = 392\theta + 700$  (ее высокие значения на графике связаны с тем, что приведены

величины из области непосредственно у электрода).

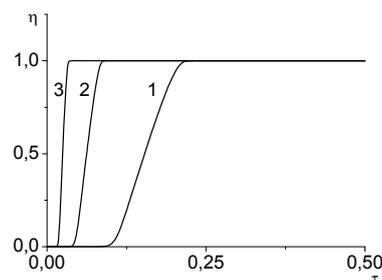


Рис. 2. Влияние  $\xi$  на степень превращения в точке с координатами  $(0,1)$ . 1:  $\xi = 25$ ; 2:  $\xi = 50$ ; 3:  $\xi = 100$ .

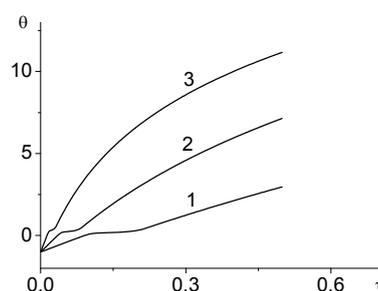


Рис. 3. Влияние  $\xi$  на температуру в точке с координатами  $(0,1)$ . 1:  $\xi = 25$ ; 2:  $\xi = 50$ ; 3:  $\xi = 100$ .

Таким образом, моделирование показывает, что нагрев пространства пласта вблизи электродов до температур выше  $600^\circ\text{C}$  возможен за десятки минут.

Описанный способ нагрева подземных пластов может оказаться пригодным для подземной газификации твердых горючих ископаемых, в частности, горючих сланцев. Вопросы его технической реализуемости, и, далее, экономической эффективности будут исследованы в дальнейшей работе.

#### Литература:

1. Патент РФ № 2385412, МПК E21B43/295, опубл. 27.03.2010
2. Федосеев С.Д., Чернышев А. Б. Полукоксование и газификация твердого топлива. – М.: 1960. – 326с.
3. Martemyanov S.M. Investigation of dielectric properties of shale // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies, 2011 - Volume 5, Part 3 - S.93-101

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТОЙ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

<sup>1</sup>Мартюшев С.Г., <sup>1,2</sup>Шеремет М.А.

Научный руководитель: Шеремет М.А., к.ф.-м.н., доцент

<sup>1</sup>Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [Naabym@sibmail.com](mailto:Naabym@sibmail.com)

### Введение

Режимы свободно-конвективного теплопереноса реализуются во многих технических системах [1–5], например, в ядерных и химических реакторах, в узлах и блоках радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники, в элементах строительной застройки и т.д. Повышение рабочей температуры в представленных системах приводит к интенсификации радиационного механизма переноса энергии [5–7], что, безусловно, необходимо учитывать при корректном математическом моделировании процессов переноса массы, импульса и энергии.

Целью настоящей работы является численный анализ режимов естественной конвекции и теплового излучения в замкнутой квадратной полости с вертикальными изотермическими и горизонтальными адиабатическими стенками. Для описания механизма излучения в полости используется приближение поверхностного излучения [5–7].

### Постановка задачи

Решается краевая задача математической физики для области, представленной на рис. 1.

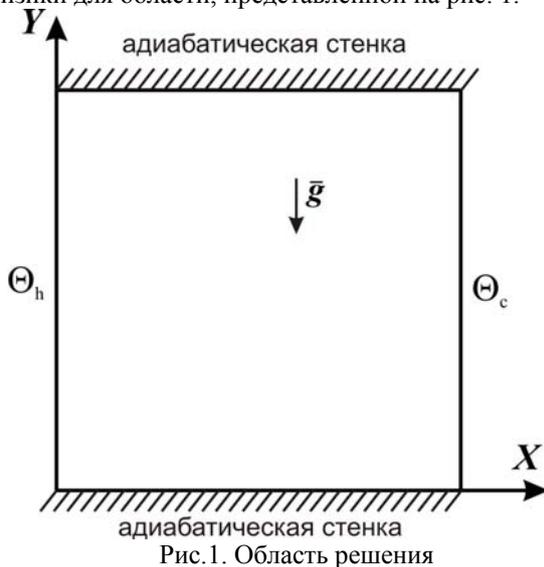


Рис.1. Область решения

Уравнения, описывающие перенос массы, импульса и энергии в рассматриваемой области (рис. 1), формулируются в безразмерных преобразованных переменных «функция тока – завихренность» [3]:

$$\nabla^2 \Psi = -\Omega, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Omega}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \nabla^2 \Omega + \frac{\partial \Theta}{\partial X}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \frac{\partial \Theta}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X} \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{\text{Pr} \cdot \text{Ra}}} \nabla^2 \Theta. \quad (3)$$

Принимается, что в начальный момент времени жидкость, заполняющая полость, является неподвижной и имеет постоянную и одинаковую во всех точках температуру.

Граничные условия:

$$\text{при } X=0 \quad \Psi = \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \Theta_h = 1;$$

$$\text{при } X=1 \quad \Psi = \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \quad \Theta_c = 0;$$

$$\text{при } Y=0, 1 \quad \Psi = \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \text{Sk} \cdot Q_{\text{rad}}.$$

Для определения безразмерного лучистого теплового потока применялось следующее соотношение в разностном виде:

$$Q_{\text{rad}k} = R_k - \sum_{j=1}^{4N} R_j F_{k-j}, \quad \text{где}$$

$$R_k = \varepsilon_k \left[ (\Theta_k + \Theta_{k-1}) \frac{1-\xi}{2} + \xi \right]^4 + (1-\varepsilon_k) \sum_{j=1}^{4N} R_j F_{k-j}.$$

Здесь  $\xi$  – температурный параметр,  $F_{k-j}$  – угловые коэффициенты;  $\text{Sk}$  – число Старка.

Сформулированная задача (1)–(3) с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей [3]. Для аппроксимации конвективных слагаемых в эволюционных уравнениях применялась схема второго порядка, позволяющая учесть знак скорости, для диффузионных слагаемых – центральные разности. Уравнения параболического типа решались с использованием локально одномерной схемы А.А. Самарского [3]. Полученная таким образом система линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей разрешалась методом прогонки. Для дискретизации уравнения (1) применялся пятиточечный шаблон “крест” на основе формул симметричной аппроксимации вторых производных. При этом полученная система разрешалась методом последовательной верхней релаксации. Угловые коэффициенты вычислялись методом пересекающихся линий Хоттелла [8].

Разработанный метод решения был протестирован на модельной задаче [9].

### Результаты решения

Численный анализ проведен в широком диапазоне изменения числа Рэлея  $10^4 \leq Ra \leq 10^6$ .

На рис. 2 представлены линии тока и поля температуры, отражающие влияние температурного напора на структуру течения и теплоперенос при  $\tau = 100$ ,  $Sk = 1.5$ ,  $\varepsilon_h = \varepsilon_c = 0.1$ ,  $\varepsilon_t = \varepsilon_b = 0.9$ .

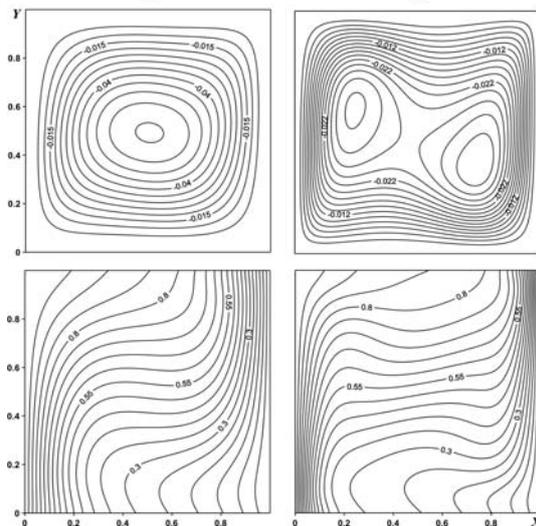


Рис.2. Распределения изолиний функции тока и температуры при  $Pr=0.7$ :  $Ra = 10^4 - a$ ,  $Ra = 10^5 - б$

Представленные изолинии (рис. 2) подобны профилям  $\Psi$  и  $\Theta$  без учета излучения [10]. Основные отличия заключаются в более медленном достижении стационарного режима и несколько отличающейся конфигурации изотерм.

На рис. 3 показаны зависимости среднего числа Нуссельта на левой вертикальной стенке  $\left( Nu_{avg} = \int_0^1 \left| \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right|_{X=0} dY \right)$  от числа Рэлея и безразмерного времени при  $Sk = 1.5$ .

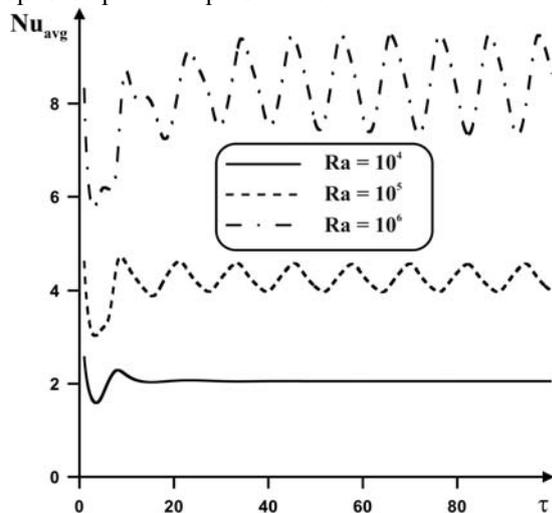


Рис.3. Зависимость среднего числа Нуссельта от времени и числа Рэлея при  $Sk = 1.5$

Увеличение температурного напора ( $Ra > 10^4$ ) приводит к формированию колебаний в распределении  $Nu_{avg}$ , что, по всей видимости, обусловлено наличием переходных режимов, зависящих как от числа Старка, так и от приведенной степени черноты поверхностей [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых (грант МК-5652.2012.8).

### Литература:

1. Jaluria Y. Design and Optimization of Thermal Systems. – New York: McGraw-Hill, 1998. – 626 p.
2. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Шеремет М.А. Сопряженные задачи естественной конвекции. Замкнутые области с локальными источниками тепловыделения. – Берлин: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 176 с.
4. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев, С.Л. Соловьев. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 548 с.
5. Liaqat A., Baytas A.C. Cooling of molten core material within a pressurized water reactor vessel lower head: interaction of surface radiation and wall conduction with free convection // International Journal of Engineering Science. – 2001. – Vol. 39. – Pp. 2089–2102.
6. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. – Л.: Энергия, 1971. – 296 с.
7. Siegel R., Howell J.R. Thermal radiation heat transfer. – London: Taylor & Francis, 2002. – 868 p.
8. Xaman J., Mejia G., Alvarez G., Chavez Y. Analysis on the heat transfer in a square cavity with a semitransparent wall: Effect of the roof materials // International Journal of Thermal Sciences. – 2010. – Vol. 49. – Pp. 1920–1932.
9. Balaji C., Venkateshan S.P. Interaction of surface radiation with free convection in a square cavity // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 1993. – Vol. 14. – Pp. 260–267.
10. Мартюшев С.Г., Шеремет М.А. Математическое моделирование свободной конвекции в квадратной полости с учетом излучения на основе двумерного (P-1)-приближения // Труды IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Молодежь и современные информационные технологии”. – Томск: Изд-во СПБ Графикс, 2011. – Ч. 1. – С. 90–91.
11. Ridouane E.H., Hasnaoui M., Amahmid A., Raji A. Interaction between natural convection and radiation in a square cavity heated from below // Numerical Heat Transfer. Part A. – 2004. – Vol. 45. – Pp. 289–311..

## РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ В ПРОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ

Моисеева К. М.

Научный руководитель: Буркина Р. С., д. ф.-м. н., профессор

Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: [moiseeva\\_kseniya@t-sk.ru](mailto:moiseeva_kseniya@t-sk.ru)

В работах [1 – 3] было показано, что на режим работы горелочного устройства оказывает существенное влияние как теплообмен со стенкой реактора [2], так и теплообмен с инертным телом внутри реактора, в роли которого может выступать пористое тело [1, 3]. Целью данной работы является исследование горения реакционной смеси в реакторе в условиях одновременного теплообмена на поверхности реактора и инертным телом, находящимся внутри него.

Рассматривается прохождение химического процесса в движущейся через реактор реакционноспособной смеси. Реактор представляет собой цилиндр длиной  $L$ , радиусом  $r$ . Температура стенок реактора –  $T_S$ .

Реакционная смесь обменивается теплом с боковой поверхностью реактора по закону Ньютона с коэффициентом теплообмена  $\alpha_s$ . Внутри реактора имеется инертная насадка – трубка длиной  $L$ , радиусом  $r_1$ , расположенная вдоль оси реактора. Инертное тело обменивается теплом с реакционной смесью по закону Ньютона с коэффициентом теплообмена  $\alpha_1$ . Начальные температуры реакционной смеси и инертного тела в реакторе равны  $T_b$ . В реактор реакционная смесь поступает со стороны  $x = 0$ . Температура входящей смеси –  $T_v$ , концентрация горючего компонента –  $a_v$ . На границе  $x = L$  реализуется свободное вытекание смеси. На границах  $x = 0$  и  $x = L$  теплообмен инертного тела с внешней средой отсутствует. Для упрощения математической постановки задачи приняты следующие допущения:

1. По поперечному сечению реактора распределения температуры и концентрации считаются однородными.
2. Изменение температуры за счет трения смеси о поверхность реактора и инертного тела незначительно и в постановке задачи не учитывается.
3. Рассматривается случай постоянного расхода реакционной смеси по реактору  $G = \rho v = const$  и не учитывается изменение плотности реакционной смеси  $\rho = const$ .

Безразмерная постановка задачи для таких допущений имеет вид:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + A_v \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + I_1(\theta_1 - \theta) + I_S(\theta_S - \theta) + \eta^n e^{\frac{\theta}{1+Ar\theta}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = k_\chi \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial \xi^2} + \frac{I_1}{k_{c\rho}} (\theta - \theta_1), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} + A_v \frac{\partial \eta}{\partial \xi} = Le \frac{\partial^2 \eta}{\partial \xi^2} - Td \eta^n e^{\frac{\theta}{1+Ar\theta}}. \quad (3)$$

Начальные и граничные условия:

$$\tau = 0: \theta(\xi, 0) = \theta_1(\xi, 0) = \theta_\epsilon, \eta(\xi, 0) = \eta_\epsilon. \quad (4)$$

$$\xi = 0: \frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial \xi} = A_v(\theta(0, \tau) - \theta_v), \frac{\partial \theta_1(0, \tau)}{\partial \xi} = 0, \quad (5)$$

$$Le \frac{\partial \eta(0, \tau)}{\partial \xi} = A_v(\eta(0, \tau) - 1).$$

$$\xi = \xi_L: \frac{\partial \theta(\xi_L, \tau)}{\partial \xi} = \frac{\partial \theta_1(\xi_L, \tau)}{\partial \xi} = \frac{\partial \eta(\xi_L, \tau)}{\partial \xi} = 0. \quad (6)$$

Безразмерные параметры и переменные определяются из соотношений:

$$\xi = \frac{x}{x_m}, \quad \tau = \frac{t}{t_{ad}}; \quad \eta = \frac{a}{a_v}, \quad \theta = \frac{E}{RT_*^2}(T - T_*);$$

$$\theta_{1,S} = \frac{E}{RT_*^2}(T_{1,S} - T_*); \quad \eta_\epsilon = \frac{a_\epsilon}{a_v}, \quad x_m = \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}} t_{ad},$$

$$t_{ad}(T_*) = \frac{c\rho RT_*^2}{EQw_{0*}}, \quad A_v = \frac{c\rho v \sqrt{RT_*^2}}{\sqrt{\lambda EQw_{0*}}}, \quad Ar = \frac{RT_*}{E},$$

$$w_{0*} = \rho^n a_v^n k_0 e^{-E/RT_*}, \quad Td = \frac{c RT_*^2}{Q a_v E}, \quad \xi_L = \frac{L}{x_m},$$

$$k_{c\rho} = \frac{r_1^2 c_1 \rho_1}{(r^2 - r_1^2) c \rho}; \quad k_\chi = \frac{\lambda_1 c \rho}{c_1 \rho_1 \lambda}, \quad Le = \frac{Dc\rho}{\lambda},$$

$$\theta_{\epsilon,v} = \frac{E}{RT_*^2}(T_{\epsilon,0} - T_*), \quad I_1 = \frac{\tilde{\alpha}_1 RT_*^2}{EQw_{0*}}, \quad I_S = \frac{\tilde{\alpha}_S RT_*^2}{EQw_{0*}}.$$

$$\text{Здесь } \tilde{\alpha}_S = \frac{2r\alpha_s}{r^2 - r_1^2}; \quad \tilde{\alpha}_1 = \frac{2\alpha_1 r_1}{r^2 - r_1^2}; \quad k_r = \frac{r^2 - r_1^2}{r_1^2};$$

$$w(a, T) = \rho^n a^n k_0 e^{-\frac{E}{RT}} - \text{ скорость химической реакции};$$

$$a = \frac{\tilde{a}}{\rho} - \text{ относительная концентрация горючей ком-}$$

поненты,  $\tilde{a}$  – массовая концентрация горючей компоненты,  $D$  – коэффициент диффузии,  $Q$  – тепловой эффект химической реакции,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $E$  – энергия активации,  $T_*$  – масштабная температура,  $\lambda$  – коэффициент молекулярной теплопроводности,  $c$  – теплоемкость,  $\rho$  – плотность. Индексы 1,  $b$  – относятся к инертному телу и начальным параметрам реактора соответственно.

Задача (1) – (6) решалась численно с помощью неявной разностной схемы. Аппроксимационная сходимость проверялась на последовательно сгущающихся сетках, счетные параметры выбирались таким образом, чтобы обеспечить точность расчетов не хуже 0.6%.

Для расчета были выбраны следующие значения безразмерных параметров:  $I_1 = 0.25$ ,  $k_{c\rho} = 23.38$ ,

$$Ar = 0.049, \quad \eta_b = 1, \quad \theta_v = -12.0, \quad Td = 2.37 \cdot 10^{-3},$$

$$k_\chi = 2.22 \cdot 10^{-2}, \quad \theta_s = 0, \quad Le = 1, \quad \xi_L = 100.$$

Такие параметры характерны для пропано-воздушной смеси [3]. Значение масштабной температуры –

$T_* = T_S = 1000$  К. Параметры  $A_v$ ,  $I_S$ ,  $I_1$ ,  $\theta_b$  менялись в широком диапазоне с целью определения режимов процесса.

Расчеты показали, что в зависимости от параметра течения смеси  $A_v$  и параметров теплообмена реакционной смеси с боковой поверхностью реактора  $I_S$  и с инертным телом  $I_1$  при различных начальных условиях в реакторе могут устанавливаться различные режимы прохождения процесса. Так при  $A_v = 0.04$ ,  $I_S = 3.96$ ,  $I_1 = 0.25$  и начальной температуре  $\theta_b = -14$  система выходит на низкотемпературное стационарное состояние с параметрами  $\theta(0, \tau) = -0.108$ ,  $\theta(\xi_L, \tau) = 0.007$ ,  $\eta(0, \tau) = 0.538$  и  $\eta(\xi_L, \tau) = 0.03$ .

Уменьшение параметра теплообмена смеси с боковой поверхностью,  $I_S = 0.674$ , приводит к установлению колебательного режима работы с периодом  $\tau_p = 190.2$ . Этот режим представлен на рис. 1.

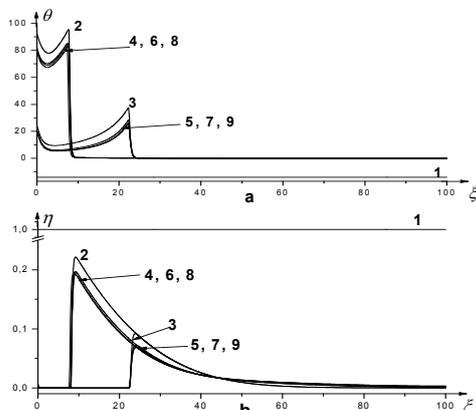


Рис.1. Профили  $\theta$  и  $\eta$  в различные моменты времени;  $\theta_b = -14$ ,  $A_v = 0.04$ ,  $I_S = 0.674$ ,  $I_1 = 0.25$ ;  $\tau = 1 - 0$ , 2 – 432.5, 3 – 435, 4 – 635, 5 – 638, 6 – 825.7, 7 – 828.7, 8 – 1015.9, 9 – 1018.9.

Можно сделать вывод, что при  $I_1 = 0.25$ ,  $A_v = 0.04$ ,  $\theta_b = -14$ , в зависимости от параметра теплообмена  $I_S$  в системе может реализоваться один из двух режимов работы реактора: колебательный ( $I_S = 0.674$ ) или устойчивый низкотемпературный ( $I_S = 3.96$ ).

Установление высокотемпературного стационарного состояния в реакторе представлено на рис.2.

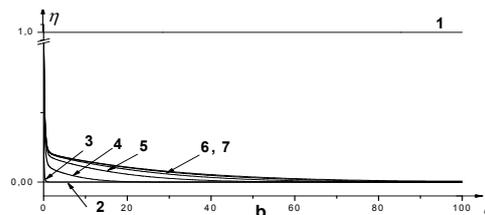
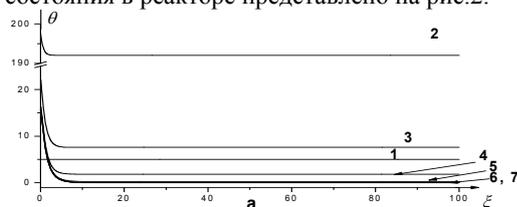


Рис.2. Профили  $\theta$  и  $\eta$  в различные моменты времени;  $\theta_b = 5$ ,  $A_v = 0.04$ ,  $I_S = 0.674$ ,  $I_1 = 0.25$ ;  $\tau = 1 - 0$ , 2 – 1, 3 – 5, 4 – 50, 5 – 300, 6 – 550, 7 – 1050.

Из рис.1 и 2 следует, что изменение начальной температуры реакционной смеси может существенно повлиять на устанавливающийся режим работы. При  $A_v = 0.04$ ,  $I_S = 0.674$ ,  $I_1 = 0.25$  в случае низкой начальной температуры ( $\theta_b = -14$ ) в системе устанавливается колебательный режим работы реактора, в случае высокой начальной температуры ( $\theta_b = 5$ ) – высокотемпературное стационарное состояние.

### ВЫВОДЫ

Численное исследование режимов работы реактора при теплоотдаче стенкам реактора и инертному телу внутри него показало:

1. В зависимости от параметра течения смеси  $A_v$  и параметров теплообмена  $I_S$  и  $I_1$  при различных начальных условиях в системе могут реализоваться высокотемпературное, низкотемпературное стационарное состояние или колебательный режим работы реактора.
2. Показана возможность неединственности режимов работы реактора. Выход на режим определяется начальным состоянием.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта № 11-03-00136-а).

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Буркина Р.С., Моисеева К.М. Режимы работы реактора идеального смешения с инертной насадкой// Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Сборник материалов конференции. – Томск: Томский государственный университет, 2011., с. 72 – 74.
2. Марута К., Паре Дж. К., Ох К.С., Фуджимори Т., Минаев С.С., Фурсенко Р.В., Особенности горения газа в узком нагретом канале//Физика Горения и Взрыва. – 2004 – Т.40, №5 – с. 21-29.
3. Прокофьев В. Г., Кирдяшкин А. И., Саламатов В. Г., Смоляков В. К. Нестационарное горение газа в инертном пористом слое // Физика Горения и Взрыва. – 2010 – Т.46, №6 – с.42-49.

## ОЦЕНКА ПЕРЕХОДА ОТ ВИБРОСМЕЩЕНИЯ К ВИБРОСКОРОСТИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПОДШИПНИКОВ

Москалёв И.Л., Савостьянова Л.В.

Научный руководитель: Литвак В. В., д.т.н, профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [moskalew@tpu.ru](mailto:moskalew@tpu.ru)

Основная цель нормирования вибрации паротурбинных агрегатов - использование параметров вибрации для диагностики их состояния: констатация нормальной стабильной работы или фиксирование начала возникновения каких-либо повреждений с целью принятия мер для предупреждения развития аварии.

Параметры вибрации для синусоидальных колебаний определяются:

$A=A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  – вибросмещение;

$V=V_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)=\omega \cdot A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  – виброскорость;

$a=-a_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)=-\omega^2 \cdot A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  – виброускорение

где  $A_0$  – максимальная амплитуда вибросмещений;  $\omega$  – угловая частота;  $t$  – время.

В данном случае между указанными параметрами имеется «жесткая» связь:

$$|A|:|V|:|a|=1:\omega:\omega^2$$

Однако при полигармонической вибрации и дискретном составе спектра вибросмещений будет иметь более сложное выражение:

$V=A_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \varphi_1) + A_2 \cdot \sin(2\omega_1 \cdot t + \varphi_2) + \dots + A_n \cdot \sin(n\omega_1 \cdot t + \varphi_n)$ , где  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – амплитуды составляющих гармоник, угловые частоты которых  $\omega_1, 2\omega_1, \dots, n\omega_1$ , а фазовые составляющие  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ .

Таким образом, из предыдущего выражения следует, что для полной характеристики вибрации необходимо знать три основных параметра: амплитуду вибросмещения, частоту и фазу составляющих вибрации. При этом критерии виброскорости и виброускорения более универсальны (в их состав входят два основных параметра – частота и амплитуда вибросмещения) [1].

В свою очередь виброускорения являются мерой силового воздействия на опоры и другие детали оборудования. Они имеют большое значение для агрегатов, работающих в условиях высоких напряжений, где нормирование вибрации определяется запасами прочности оборудования. Однако применительно к паротурбинным агрегатам параметр виброускорения вследствие низких его значений для опор подшипников (средние значения виброускорений опор подшипников находятся на уровне  $0,2-11 \text{ м/с}^2$ ), малой чувствительности при оценке дисбаланса роторов турбоагрегатов - главной причины вибрации турбоагрегатов, не может являться основным и единственным критерием вибрации опор подшипников паротурбинных установок [2].

Таким образом, параметр виброскорости как бы «сглаживает» характерные особенности двух других параметров. На графике смещения усилена низкочастотная область, а на графике ускорения – высокочастотная при ослаблении низкочастотной (рисунок 1) [3].

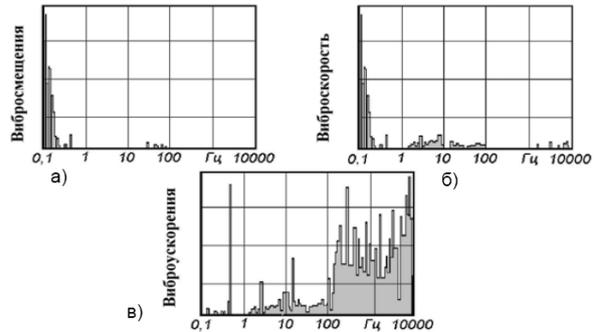
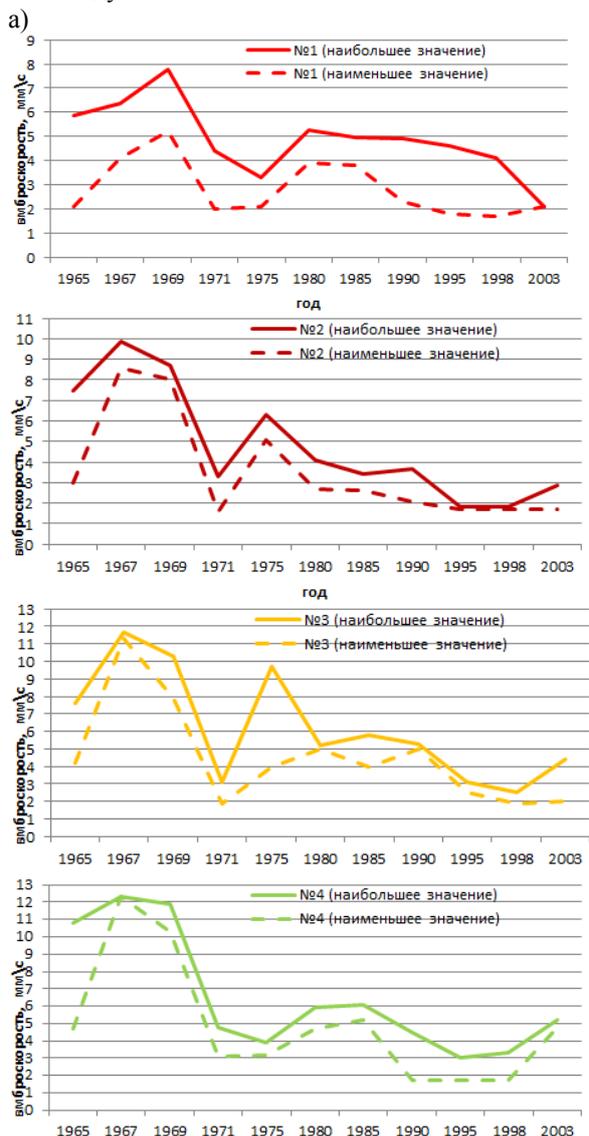


Рисунок 1 – Вид графического представления вибросигнала

Построим графики вибросмещений и виброскоростей на основании ремонтной предыстории турбоагрегата Р-50-130, введённого в эксплуатацию в 1964 году.



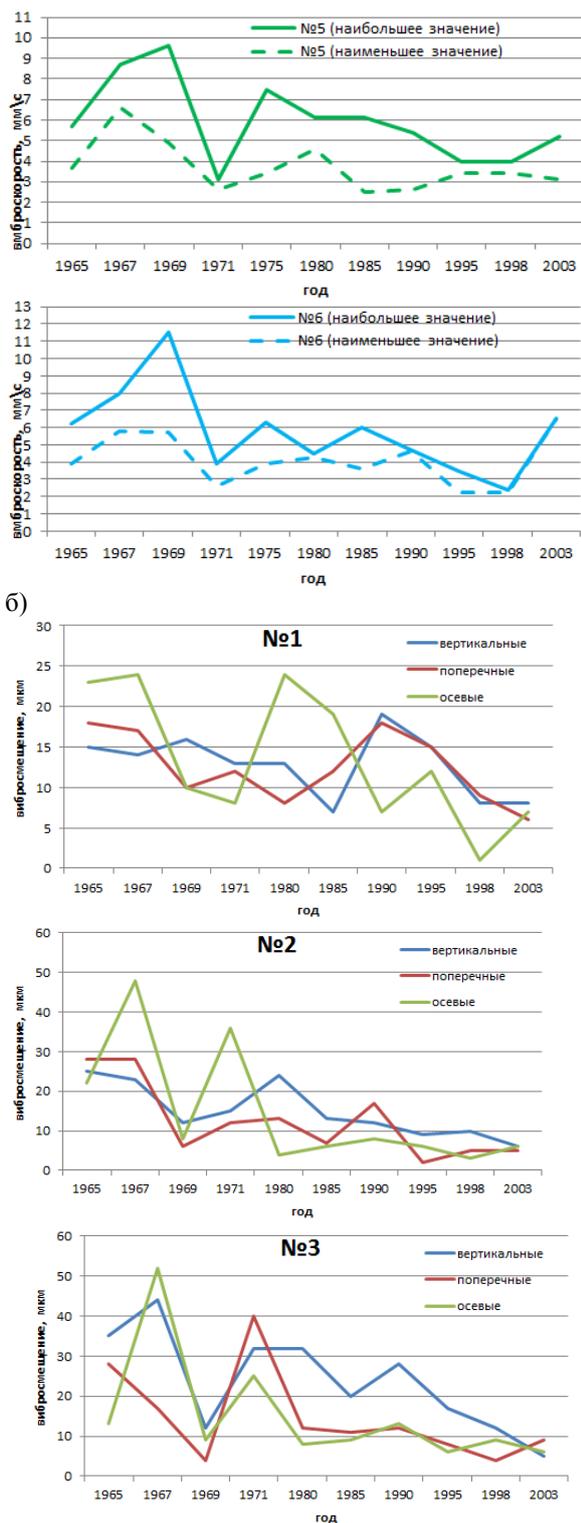


Рисунок 2 – График виброускорений (а) и виброперемещений (б) подшипников турбоагрегата  
На основании всестороннего анализа можно сделать следующие выводы о преимуществах параметра виброскорости по сравнению с параметром виброперемещений.

1. Учитывается частота вибрации, поскольку амплитуда каждой  $n$ -й гармоники виброскорости выражается в виде произведения  $V_n = A_n \cdot \omega_n$  и, следовательно, виброскорость есть мера интенсивности вибрации, определяемая, в частности, через энергию колебательного процесса.
2. Большая устойчивость параметра виброскорости к влиянию конструкции опор подшипников, что обеспечивает незначительный разброс уровней виброскоростей опор подшипников разной конструкции (при одинаковой степени силового воздействия) и позволяет установить единое нормативное значение для всех опор подшипников как данного типа турбоагрегата, так и для турбоагрегатов разных типов.
3. Более высокая точность и надежность измерений.
4. Параметр виброскорости позволяет установить единое нормативное значение вибрации для всех подшипников любых типов турбоагрегатов с любой рабочей частотой вращения, а также при контроле вибрации при переменной частоте вращения (во время пуска и останова агрегата).
5. Единое нормативное значение виброскорости удобно и при проведении балансировочных работ, поскольку качество балансировки принято оценивать уровнем вибрации во всем возможном диапазоне частот вращения.

Проведение научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

#### Список литературы:

1. Рунов Б. Т., Меерович Л. Б. – Разработка норм вибрации турбоагрегатов. - Электрические станции, 1978, № 10.
2. Методические указания по оснащению техническими средствами технологической защиты при повышении вибрации турбоагрегата. СО 34.35.105-2002.
3. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев – М.: - Библиогр., 1996.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ТОПКЕ КОТЛА БКЗ-420-140-2

Мурзина А.С., Гиль А.В.

Научный руководитель: Гиль А.В., ассистент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: [almur09@hotmail.com](mailto:almur09@hotmail.com)

Теплоэлектростанции (ТЭС), работающие на твердом топливе играют важную роль в обеспечении потребности регионов России в электрической и тепловой энергии. Однако в последние 20 лет значительная часть ТЭС вынуждена работать на непроектном топливе. Это связано с исчерпанием запасов ряда угольных месторождений и выемки глубоких, высокозольных пластов.

Необходимость перевода котла БКЗ-420-140-2, сжигающего в качестве проектного топлива высокозольный экибастузский уголь, на непроектные угли обусловлено рядом причин [1]:

- износ оборудования ТЭС по причине высокой зольности проектного топлива;
- заполнение большинства золоотвалов до 80-90% их полной емкости;
- предъявление природоохранительными органами штрафов в связи с повышенными выбросами вредных веществ.

Использование непроектного топлива зачастую приводит к существенному изменению эксплуатационных режимов и реконструкции оборудования на станции. Следует отметить, что в последние годы, появилась возможность выбирать наиболее эффективное топливо. Для этого необходимо оценить эффективность использования непроектного топлива и экономическую целесообразность его сжигания [2].

Существующие экспериментальные и теоретические методы исследования возможности перевода котлов на сжигание непроектных топлив являются весьма трудоемкими и затратными. В настоящее время наиболее эффективно применение численных методов при решении подобных задач.

Объектом исследования является котельный агрегат БКЗ-420-140-2. Данный котельный агрегат - однокотловый, вертикально-трубный, с твердым шлакоудалением. Топочная камера выполнена по Т-образной сомкнутой компоновке, а конвективный газоход – по П-образной. Высота котельного агрегата составляет 27,3 м.

Топочная камера оборудована 12-тью вихревыми лопаточно-лопаточными пылеугольными горелками, расположенными встречно на боковых стенах топки в один ярус.

В качестве замещающего топлива принят бурый ирша-бородинский уголь Канско-Ачинского угольного бассейна.

Для определения расходных и балансовых характеристик при сжигании замещающего угля выполнены тепловые расчеты топки на номинальную нагрузку по нормативному методу [3].

В связи с отличием теплотехнических свойств ирша-бородинского угля от экибастузского, необходимо организовать другие условия образования и воспламенения пылевоздушной смеси. С целью достижения наименьших конструктивных изменений топочной камеры котла принята одноступенчатая трехвихревая схема сжигания топлива (рис.1). При этом горелки остаются в прежних амбразурах, но они становятся прямооточными вследствие демонтажа завихрителей.

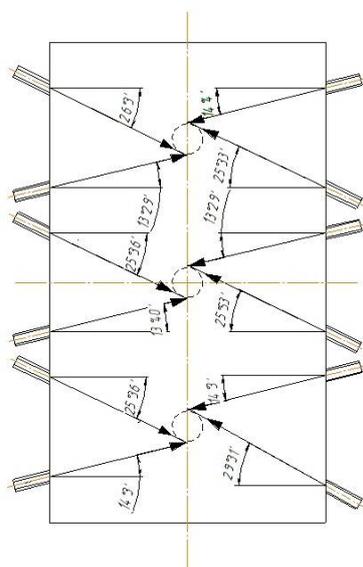


Рис.1. Одноступенчатое трехвихревое сжигание топлива

Для численного исследования топочных процессов, расчета аэродинамики, теплообмена и горения пылеугольного топлива при одноступенчатом трехвихревом сжигании применялся программный комплекс FIRE 3D, который позволяет проводить исследования на основе математических моделей и анализировать результаты в графическом виде [4]. На рисунке 2 представлено распределение скорости воздуха в горизонтальном сечении. Наибольшее значение скорости наблюдается в районе амбразур горелок и пережима – в среднем 20 м/с. Аэродинамическая структура потоков в зоне активного горения показывает, что исследуемая схема компоновки горелок при сжигании непроектного топлива воспроизводит три вихря, растянутых по ширине топки. При этом образуются обширные циркуляционные зоны.

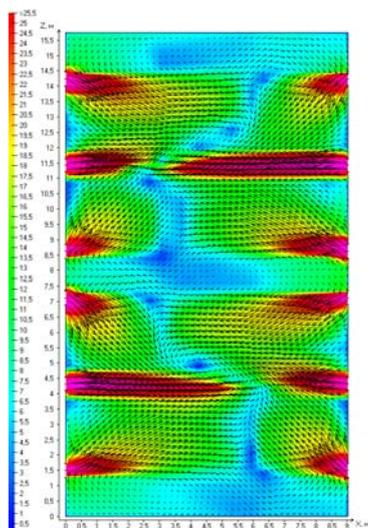


Рис.2. Аэродинамическая структура

На рисунке 3 представлены поля температур в вертикальном сечении. Средняя температура в зоне активного горения находится в пределах 1400-1550 К. При сжигании Ирша-Бородинского угля в нижней части топочной камеры, примерно на уровне середины холодной воронки, значение температуры составляет 1160 К. Далее с увеличением значения координаты высоты топочной камеры температура растет до уровня горелок, понижается, а затем достигает 1400 К на уровне 13 м. При дальнейшем увеличении координаты высоты температура плавно уменьшается и на выходе из пережима составляет порядка 1200 К.

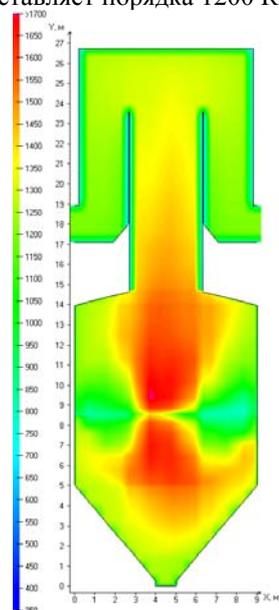


Рис.3. Температурные поля

Моделирование взаимодействия твердой фазы топочной среды с ограждающими поверхностями топочной камеры позволило определить наиболее

вероятные зоны наброса частиц на тепловоспринимающие экраны. Характерными зонами контакта частиц твердой фазы с ограждающими поверхностями являются скаты холодной воронки. Интенсивность наброса частиц в этой области может дать количественные оценки коэффициенту шлакоулавливания и другим составляющим золотого баланса. Также можно выделить зону наброса частиц в районе пережима топочной камеры, что в свою очередь повышает вероятность абразивного износа труб настенных экранов в этой части котла. Ввиду низкого значения концентрации частиц на боковых, фронтном и тыльных экранах, полученного в процессе моделирования, можно сделать вывод о том, что при одноступенчатом трехвихревом сжигании бурого Ирша-Бородинского угля прогнозируется надежная работа по условиям шлакования экранов котла.

Математическое моделирование процесса горения учитывает сложные процессы трехмерного движения частиц, лучистый и конвективный теплообмен, выход летучих, догорание коксового остатка и многие другие параметры процесса горения топлива. На основе численного анализа получены расчетные данные протекания топочных процессов при замене горелочных устройств и схемы горения непроектного топлива. Исходя из них можно сделать вывод о том, что при сжигании непроектного топлива в топочной камере БКЗ-420-140-2 наблюдается устойчивое воспламенение и выгорание пылевоздушной смеси. Температурный уровень при сжигании ирша-бородинского угля во всем топочном объеме умеренный без наличия ярко выраженных высокотемпературных зон, что положительно влияет на надежность работы циркуляционных контуров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гаврилов А.Ф., Гаврилов Е.И. Экологические аспекты замещения экибастузского угля кузнецкими углями на ТЭС России // Теплоэнергетика. – 2004. - № 12. – С. 23-28.
2. Обзор показателей Эдельман В.И., Говсиевич Е.Р., Мельников А.П., Кулаков А.В., Кузнецов В.А. О переводе ТЭС Урала, входящих в Урал-ТЭК, с экибастузского на непроектные кузнецкие угли // Электрические станции. 2001. -№ 1. – С. 2-5.
3. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
4. Старченко А.В., Заворин А.С., Красильников С.В. Применение пакета FIRE 3D к анализу процессов шлакоулавливания в пылеугольных топках // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. - № 2. – С. 152-157.

## ФОРМИРОВАНИЕ ОКИСЛОЖЕЛЕЗНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДВУХБАРАБАННЫХ КОТЛОВ

Орлова Л.В.

Научный руководитель: Тайлашева Т.С., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30  
E-mail: [orllove@rambler.ru](mailto:orllove@rambler.ru)

При эксплуатации двух барабанных котлов наблюдается регулярность разрушения основных конструктивных элементов испарительных экранных систем. Неоднократно эти элементы подвергаются замене – как в период плановых ремонтов, так и во время аварийных остановов.

Как известно [1], концентрация примесей в котловой воде является определяющим условием для накипеобразования. Интенсивность последнего вместе с тем находится в степенной зависимости от величины теплового потока. Поэтому отступления от нормативов [2] по оснащению котельных водоподготовительным оборудованием и ведению водно-химического режима, оправдываемые кажущимся сокращением капитальных и эксплуатационных затрат, на самом деле ведут к их кратному возрастанию. Интенсивное накипеобразование даже при умеренных тепловых нагрузках и достаточном расходе воды может приводить к катастрофическому превышению температуры металла стенки трубы.

Отмечается, что наибольшее число аварий котлов ДКВР-20-23, работающих на газообразном топливе и мазуте, связано с разрывами экранных труб в районе расположения горелок [3]. Результаты обследований показывают, что на большинстве котлов за 3-4 года эксплуатации неоднократно производилась замена экранных труб как в период плановых ремонтов, так и во время аварийных остановов котлов. Основной причиной аварий является наличие высокотемпературного ядра горения.

Использование программы FIRE 3D для двухбарабанных котлов, описанное в [4], дает возможность не только получать трехмерные изображения внутритопочных параметров, но и строить графиче-

ские зависимости распределения температуры, теплового потока по высоте, глубине и ширине топки.

Данный способ определения тепловых потоков в пристеночной области топки упрощает выполнение теплогидравлических расчетов циркуляционной системы и в значительной степени позволяет сократить трудоемкость оценке надежности эксплуатационных режимов котлов.

Возможность прогнозировать зону максимальных тепловых напряжений на экранные трубы и их величину, а также с учетом известной или задаваемой величине содержания котловой воды можно обозначить зону с недопустимой скоростью (интенсивностью) накипеобразования.

В эксплуатационных условиях зачастую нет возможности для оценочных расчетов, как скорости накипеобразования, так и продолжительности формирования отложений. При этом межпромысловый период работы котла определяется скоростью образования отложений на внутренней поверхности трубы, т.е. зависит в первую очередь от условий эксплуатации.

Реализацию такого подхода иллюстрирует рис. 1, на котором для различных концентрации железа, при известных значениях эксплуатационной разности радиационного теплового потока, построены графики времени образования предельно допустимых количеств отложений на огневой стороне экранной трубы. При этом величина предельно допустимой удельной массы отложений задана равной  $800 \text{ г/м}^2$  согласно действующим требованиям СО 34.37.306-2001 п.3.3[5].

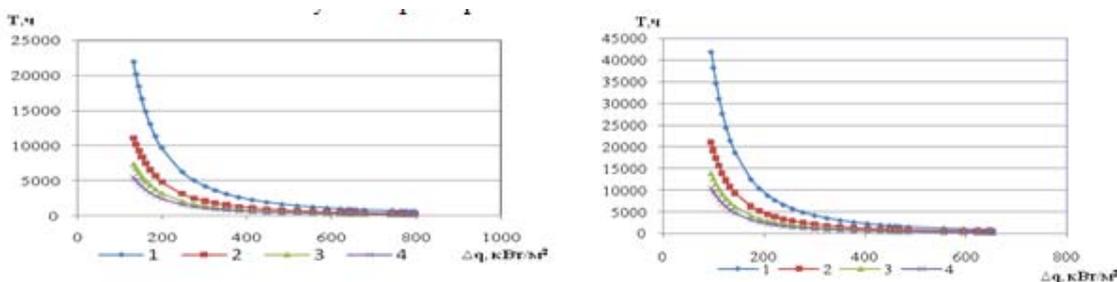


Рис. 1. Время формирования предельно допустимых отложений на огневой стороне трубы при концентрации железа 1-  $C_{Fe}=5 \text{ мг/дм}^3$ , 2-  $C_{Fe}=10 \text{ мг/дм}^3$ , 3-  $C_{Fe}=15 \text{ мг/дм}^3$ , 4-  $C_{Fe}=20 \text{ мг/дм}^3$  (слева – при 100% нагрузке от номинальной, справа – при 50% нагрузке от номинальной (при работе двух горелок).

Время формирования предельной массы отложений с ростом теплового напряжения, естественно, неуклонно падает. Но сроки проведения промывок для котлов обычно совмещают с летними остано-

вами и ремонтами оборудования, при этом средний эксплуатационный год представляет период протяженностью 8500 часов. Если исходить из

этих условий, то нормальная величина эксплуатационной разности плотностей

излучения в пристеночной области должна составлять не более 150...160 кВт/м<sup>2</sup>.

С другой стороны, можно решать обратную задачу: при известном качестве ведения водного

режима и известных тепловых нагрузках котла можно с профилактической целью прогнозировать ожидаемое время работы оборудования для ограничения времени эксплуатации или определения оптимального межпромывочного периода.

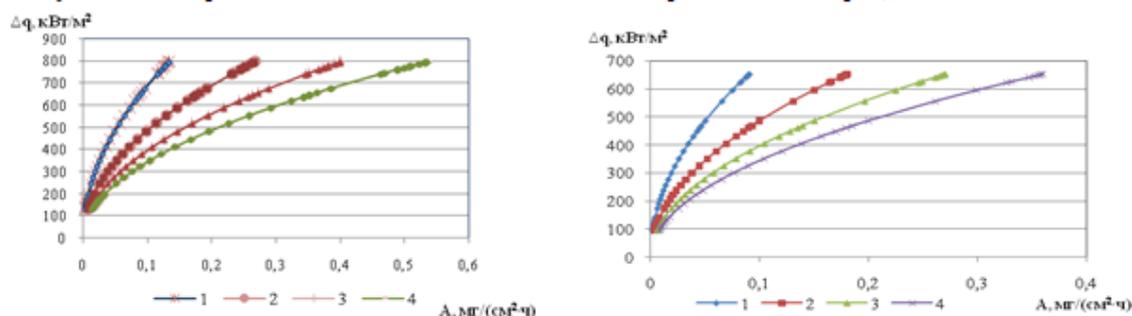


Рис.2. Влияние теплового потока (слева – при 100% нагрузке от номинальной, справа – при 50% нагрузке от номинальной (при работе двух горелок) на скорость образования продуктов коррозии при разной концентрации железа 1-  $C_{Fe}=5$  мг/дм<sup>3</sup>, 2-  $C_{Fe}=10$  мг/дм<sup>3</sup>, 3-  $C_{Fe}=15$  мг/дм<sup>3</sup>, 4-  $C_{Fe}=20$  мг/дм<sup>3</sup>.

Полученные результаты позволяют проанализировать влияние теплового потока на скорость образования продуктов коррозии при разных концентрациях железа. При увеличении теплового потока скорость образования продуктов коррозии непрерывно возрастает. Полученные графики имеют вид степенной зависимости. Видно, что чем выше концентрация железа, тем выше скорость образования продуктов коррозии. При непрерывном увеличении теплового потока самая низкая скорость образования накипи из продуктов коррозии, как и при 100% нагрузке от номинальной, так и при 50% нагрузке, отмечается при концентрации железа  $C_{Fe}=5$  мг/дм<sup>3</sup>.

С использованием данного способа можно оценить интенсивность формирование других видов отложений, так как в котловой воде помимо оксидов железа присутствуют незначительное количество солей жесткости, которые вызывают формирование щелочноземельных накипей.

Также стоит отметить, что на время формирования отложений значительное влияние оказывает коэффициент упаривания котловой воды между чистым и солевым отсеками испарения. Изучение данных обстоятельств требует особого внимания, и подводят к выводу о необходимости проведения дополнительных расчетов для оценки работы экранных труб в различных условиях эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Манькина Н.Н. Исследование условий образования железистоокисных отложений // Теплоэнергетика. – 1960. – № 3. – С.8–12..
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов : ПБ 10-574-03 : утв. Госгортехнадзором России 11.06.03. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – Серия 10. Вып. 24. – 216 с.
3. Ахмедов, Д. Б. Выявление и предотвращение причин аварий на котлах ДКВР-20, работающих на газе и мазуте // Промышленная энергетика. – 1974. – № 7. – С. 20–21.
4. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа// Известия Гомского политехнического университета.-2009.-№4, Том 314 -С.12-20
5. СО 34.37.306-2001 (РД 153-34.1-37.306-2001). Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций. Определение количества и химического состава отложений. Общие требования. – Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002.–82с.:ил

## ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРОВОГО КОНТУРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОДНОКОНТУРНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Орлов А.С.

Научный руководитель: Антонова А.М., к.т.н., доцент.

Томский Политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30

E-mail: [ASOrlov@inbox.ru](mailto:ASOrlov@inbox.ru)

В соответствии с государственной политикой в энергетической отрасли Министерство энергетики РФ обозначило одним из основных направлений модернизации теплоэнергетики создание когенерационных установок на базе современных газовых турбин. Очевидные факты: больше половины установленной мощности находится в эксплуатации более 30 лет и динамика роста аварий на станциях доказывает необходимость эффективной модернизации оборудования ТЭЦ и обеспечение производственных процессов на современном уровне. [1, с. 12]

Парогазовая установка с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) – наиболее перспективная и широко распространенная в энергетике парогазовая установка, отличающаяся простотой и высокой эффективностью производства электрической энергии. Эти ПГУ – единственные в мире энергетические установки, которые при работе в конденсационном режиме отпускают потребителям электроэнергию с КПД 55-60%. [2, с. 271]

Одной из главных причин перспективности ПГУ является использование природного газа – топлива, мировые запасы которого очень велики. Газ – это лучшее топливо для энергетических ГТУ – основного элемента установки. Природный газ хорошо транспортируется на дальние расстояния по магистральным газопроводам. Его можно поставлять и в жидком виде, как сжиженный природный газ.

Одной из приоритетных задач для парогазовых установок является технико-экономическая оптимизация параметров паровой турбоустановки. В данной статье представлены результаты расчетов утилизационной ПГУ с одноконтурным КУ. За основу расчетов была принята реальная газовая турбина 9FB производства General Electric [1, с. 12]. Анализ литературы показал, что существуют оптимальные значения начальных параметров для паротурбинной установки в составе ПГУ, однако, к этим значениям не приведено никаких расчетов. Таблица 1. Основные характеристики энергетической ГТУ 9FB производства GE

	9FB
Мощность, МВт	291
КПД, %	38,4
Степень повышения давления	18,5
Температура за ГТУ, °С	639
Расход газов за ГТУ, кг/с	638

Для расчета температуры перед газовой турбиной примем ряд допущений, а также оценочно примем данную температуру равной  $t_c = 1350$  °С :

- Температура воздуха на входе в компрессор  $t_a = 15$  °С ;
- отношение давлений компрессора  $\pi = 18,5$  ;
- коэффициент потерь давления  $\lambda = 0,95$  ;
- коэффициент использования теплоты топлива в камере сгорания  $\eta_{к.с.} = 0,995$  ;
- изоэнтروпийный КПД турбины  $\eta_T = 0,88$  ;
- изоэнтропийный КПД компрессора  $\eta_K = 0,86$  ;
- в качестве топлива принимаем стандартный углеводород ( $C = 85\%$  ,  $H = 15\%$  )
- теплота сгорания  $K_T = 44300$  кДж/кг ;
- минимально необходимое количество воздуха для полного сжигания 1 кг газа  $L_0 = 15$  кг/кг . [3, с. 387]

В ходе расчета парового контура был принят ряд допущений:

- пренебрегаем, в первом приближении, влиянием сопротивления КУ на температуру газов за ГТУ;
- температуру газов перед ГТУ ориентировочно оценена и составляет  $t_g = 1350$  °С ;
- относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi} = 85\%$  ;
- механический КПД и КПД электрогенератора  $\eta_m = 99\%$  и  $\eta_e = 98\%$  соответственно;
- температурный напор на холодном конце испарителя  $\theta_u = 10$  °С ;
- температура наружного воздуха  $t_{нв} = 15$  °С ;
- диапазон изменения давления пара перед турбиной  $P_0 = 1 \div 10$  МПа с шагом 1 МПа [4, с. 373];
- давление в конденсаторе 5 кПа;
- температурный напор на горячем конце пароперегревателя варьируется  $\theta_{nn} = 20 \div 40$  °С .

Расчет производился на основе уравнений теплового баланса для котла-утилизатора.

Таблица 2. Расчет параметров ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором при различных значениях начального давления при  $t_0=570$  °С.

$P_0$ , МПа	$D_0$ , кг/с	$N_{э}$ , МВт	$Q_{эк}$ , МВт	$Q_{и}$ , МВт
1	103,75	103,49	62,9	210,9

2	101,66	108,64	76,3	194,0
3	100,38	110,88	85,2	182,1
4	99,50	112,09	92,2	172,4
5	98,86	112,80	98,0	164,1
6	98,41	113,23	103,3	156,6
7	98,09	113,48	108,0	149,7
8	97,90	113,67	112,5	143,3
9	97,82	113,78	116,8	137,2
10	97,83	113,86	120,9	131,3

Продолжение Таблицы 2.

$P_0$ , МПа	$Q_{пп}$ , МВт	$\eta_{э}$ , %	$\eta_{пгу}$ , %	$у_k$ , %
1	88,7	28,55	52,06	3,3
2	83,9	30,67	52,74	6,4
3	81,5	31,79	53,03	8,2
4	80,1	32,52	53,19	9,3
5	79,4	33,03	53,28	10,2
6	79,1	33,41	53,34	10,9
7	79,1	33,68	53,37	11,4
8	79,5	33,91	53,40	11,9
9	80,0	34,07	53,41	12,3
10	80,8	34,19	53,43	12,6

Необходимо принять во внимание тот факт, что для паровых турбин ПГУ предельно допустимая влажность в последних ступенях не должна превышать 7-8 % [2, с. 324].

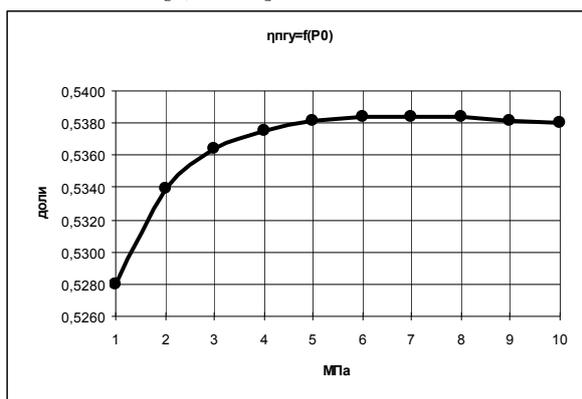


Рис. 1. Зависимость КПД ПГУ от начального давления паротурбинной установки.

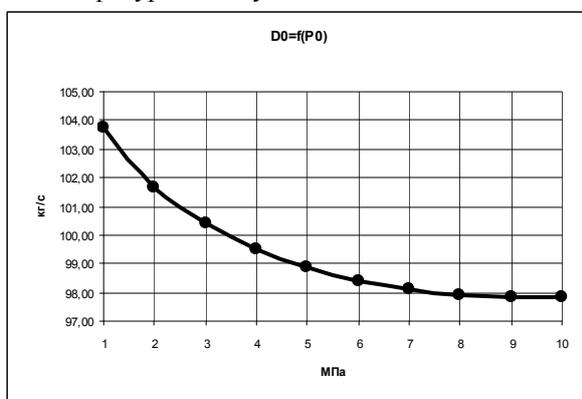


Рис. 2. Зависимость расхода пара на турбину от начального давления.

Расчет параметров ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором при различных значениях начальной температуры проводился при начальном давлении  $P_0=6$  МПа.

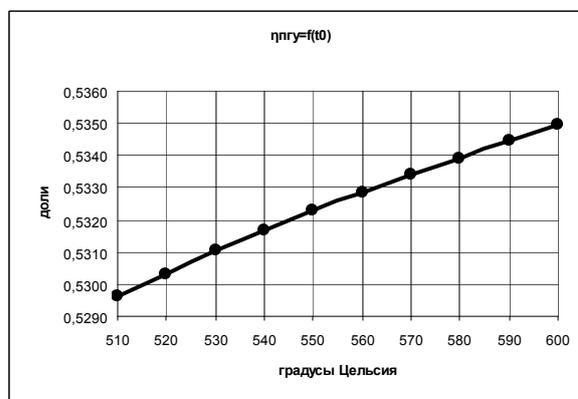


Рис. 4. Зависимость КПД ПГУ от начальной температуры паротурбинной установки.

Графики зависимости теплоперепада и расхода пара на турбину от начальной температуры имеет зависимость близкую к линейной, при этом теплоперепад монотонно возрастает, а расход пара — убывает.

Результаты расчетов показывают, что с увеличением начального давления КПД парогазовой установки достигает своего максимума при  $P_0 = 6 \div 7$  МПа, однако предельно допустимая влажность в конце процесса расширения достигает предельного значения при начальном давлении  $P_0 = 3$  МПа. С ростом начальной температуры КПД ПГУ монотонно возрастает, а влажность в конце процесса расширения — убывает.

#### Список литературы:

1. Дудко А. П. Энергетические газотурбинные установки ГЕ для строительства новых и модернизации существующих мощностей на ТЭЦ в России // Газотурбинные технологии. – 2011. - №5. – с. 12-15.
2. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
3. Костюк А. Г., Фролов В. В. и др. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
4. Клименко А. В., Зорин В. М., Тепловые и атомные электростанции: справочник. – М.: Издательский дом МЭИ, 2003 – 648 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА SF<sub>6</sub> В ОБРАТНОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ «ЖИДКОСТЬ - ТВЕРДОЕ ТЕЛО»

Паянен Р.И.

Научный руководитель: Мазурин И.М., д.т.н.

ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19.

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

Работа посвящена технической задаче регенерации изолирующего газа высоковольтного оборудования (SF<sub>6</sub>) как на высоковольтных подстанциях, так и для полевых условий. Поэтому простота технического решения является основным условием задачи.

Наиболее сложным вопросом является удаление примеси воздуха до необходимых концентраций. Для решения задачи были исследованы фазовые равновесия бинарной смеси азот-элегаз в области малых концентраций. На основе этих данных была разработана достаточно простая и эффективная схема регенерации элегаза в полевых условиях и получены экспериментальные результаты, подтвердившие эффективность предлагаемой схемы.

В основе данной схемы лежит процесс дистилляции, позволяющий эффективно удалять низкокипящие примеси до необходимых концентраций. Для реализации схемы регенерации больших объемов элегаза на высоковольтных подстанциях была разработана дополнительная схема с использованием массовой кристаллизации при фазовом переходе жидкость - твердое тело.

Сегодня практически все высоковольтные электрические подстанции в Европе используют элегаз в качестве изоляции. На данный момент в России доля электрических подстанций на элегазе составляет всего лишь около 5%. Однако, сейчас в нашей стране проводится активная замена электрических подстанций с маслом наполненным высоковольтным оборудованием на подстанции на элегазе, т.к. элегаз в качестве дугогасящей среды и газа-изолятора обладает рядом преимуществ по сравнению с маслом. Среди них стоит отметить: - токсическую и пожарную безопасность; практически полную рекомбинацию после высоковольтного пробоя; прекрасные изоляционные и дугогасящие свойства.

Несмотря на очевидные преимущества элегаз в течение длительной эксплуатации (за 5-10 лет) неизбежно загрязняется продуктами разложения элегаза и компонентами воздуха, которые неизбежно проникают во внутренние полости аппаратов из-за большой разницы парциальных давлений. По этой причине осушка элегаза производится раз в 3-5 лет, а удаление других примесей воздуха производится при ревизии аппаратов, необходимой для замены контактных пар с периодичностью 5-10 лет в зависимости от конструкции аппаратов.

В элегазе сегодня известно пять основных групп примесей:

1. Из состава воздуха: азот, кислород, углекислый газ, аргон, влага;
2. Фторсодержащие примеси: SOF<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SOF<sub>4</sub>, SiF<sub>4</sub>, SF<sub>4</sub>, HF;
3. Фторуглероды: CF<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>12</sub> и др.;
4. Минеральные масла: C<sub>n</sub> H<sub>m</sub>;

5. Механические и прочие примеси FeF<sub>3</sub>, AlF<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CS<sub>2</sub>, COS.

Среди высоковольтного элегазового оборудования наиболее чувствительными к загрязнениям являются коммутирующие устройства с гашением электрической дуги. Для этих аппаратов существует расчётное количество отключений, после чего они подлежат ревизии с заменой полюсных наконечников. При этом происходит утилизация элегаза и, одновременно с ревизией, выполняется регенерация элегаза для повторного использования.

По причине большого количества разнородных примесей универсального метода для очистки элегаза не найдено. Используется последовательность элементарных способов, которая обеспечивает очистку от определенных групп примесей:

-гидролиз - каталитическая очистка – сорбция - ректификация [ 2 ];

-сорбция -каталитическая очистка - сорбция – кристаллизация [3] и другие.

Для решения задачи очистки элегаза за основу была взята дистилляция, поскольку оценочные значения коэффициентов разделения элегаз-азот были известны. Кроме того, стали доступны для приобретения бесмасляные компрессоры, без которых выполнение дистилляционной очистки было бы связано с большими потерями элегаза.

На начальном этапе исследований экспериментальным путём были определены коэффициенты растворимости азота в элегазе для диапазона концентраций от 0,12 %масс. до 0,72%масс. Концентрации определялись масс-спектрометрическим методом после калибровки прибора на смесях, приготовленных весовым способом. На основе этих данных была разработана достаточно простая и эффективная схема регенерации элегаза в полевых условиях.

На рисунке 1 приведена диаграмма равновесных концентраций смеси азот-элегаз:

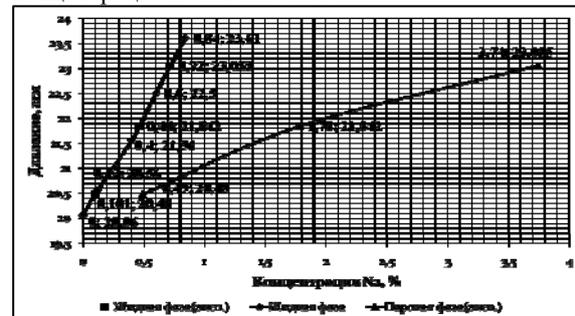


Рисунок. 1. Равновесные концентрации примеси азота в жидкой (левая кривая) и паровой фазах (правая кривая) в элегазе

На рисунке 1 видно, что равновесные концентрации азота в элегазе при нормальной температуре для паровой фазы в 4 раза больше, чем в жидкой фазе.

Поэтому был сделан вывод, что наиболее удобным и простым способом для удаления низкокипящих примесей из элегаза для условий высоковольтных подстанций является дистилляция, поскольку за счёт простого удаления пара можно сравнительно легко получить элегаз, чистый от низкокипящих азота и кислорода. Именно этот процесс стал основным в предлагаемой схеме рецикла элегаза. Агрессивные фторсодержащие примеси довольно эффективно удаляются сорбцией на алюмогеле.

Более подробно упрощенная схема состоит из двух баллонов, объединённых одним «сухим» компрессором. Отдающий баллон с загрязнённым элегазом целесообразно предварительно ладить, если процесс идёт в зимний период. При этом в баллоне останется больше чистого продукта, поскольку растворимость азота в жидком элегазе уменьшается с понижением температуры. Откачка паровой фазы производится в принимающий баллон. В нём концентрация примеси азота в жидкости и паре будет существенно выше, в сравнении с отдающим баллоном. В конце операции в отдающем баллоне остается очищенный от низкокипящих примесей элегаз. Он может перейти в твёрдое состояние, поскольку почти вся теплота испарения сохраняется в отдающем баллоне и охлаждает жидкость. Если из баллона удалить более половины массы газа первичной заправки (40 кг), то остаток очищенного вещества можно получить твёрдым, т.е. при минус 50°C.



Рисунок 2. Простейшая схема регенерации элегаза. Два баллона объединяют «сухим» компрессором по пару и перекачивают газ в пустой баллон.

Для регенерации больших объемов элегаза в условиях завода был разработан непрерывный цикл очистки с использованием массовой кристаллизации при фазовом переходе жидкость - твёрдое тело [3]. Схема цикла представлена на рисунке 3.

Разрабатываемая установка предназначена для получения элегаза необходимой чистоты без сверхнормативных примесей воздуха.

При работе установки происходят 3 фазовых перехода рабочего тела: пар – жидкость (конденсация), жидкость – тв. тело (кристаллизация), твердое тело – пар (сублимация).

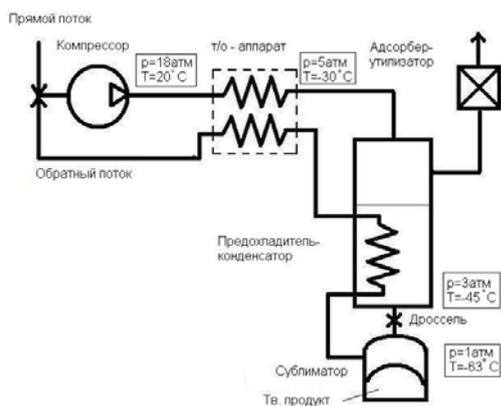


Рисунок 3. Принципиальная схема установки непрерывной очистки элегаза.

В цикле работы разрабатываемой установки осуществляются 3 стадии очистки:

1. Дистилляция. В предооладителе происходит удаление низкокипящих примесей с паром элегаза, который поглощается сорбентом на выходе из аппарата.
2. Фазовый переход жидкость – твёрдое тело, происходит на дросселе в сублиматоре. За дросселем остаётся твёрдая фаза в равновесии с паром. В паровой фазе концентрация низкокипящих примесей существенно выше, чем в твёрдой фазе.
3. Сублимационная очистка. Из сублиматора осуществляется отбор пара в обратный поток. При этом удаляются низкокипящие примеси. Очищенный продукт остаётся на дне сублиматора в виде твёрдой фазы.

По принципу действия, установка является обычной холодильной машиной, в которой элегаз используется в качестве хладагента. После дросселирования элегаз переходит в твёрдое состояние и вылетает из сопла в виде мелкодисперсных кристаллов. При этом отбираемый пар из кристаллизатора существенно богаче по низкокипящим примесям в сравнении с твёрдой фазой. Обогащённый пар в виде обратного потока подаётся на компрессор и затем в конденсаторе избыток низкокипящих примесей выводится в адсорбер-утилизатор. Пополнение цикла осуществляется на входе в компрессор. Продукт - очищенный элегаз, получается в твердом состоянии. Его температура минус 63°C.

#### Литература:

1. Н.И. Гельперин, Г.А. Носов Основы техники кристаллизации расплавов, «Химия», 1975.
2. Д.П. Лебедев, Т.Л. Перельман Тепло- и массообмен в процессах сублимации в вакууме, «Энергия», 1973.
3. В.А. Григорьев, Ю.И. Крохин Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники. Энергоиздат, М., 1982.

## ОБ ОТКЛОНЕНИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пинигин В.В., Батухтин А.Г.

Научный руководитель: Батухтин А.Г.

Забайкальский государственный университет, 672045, Россия, г. Чита, ул. Баргузинская, 49

E-mail: [vaso-88@mail.ru](mailto:vaso-88@mail.ru)

Залогом развития энергетики на современном этапе и на перспективу является охрана окружающей среды. При этом вопросы уменьшения вредного воздействия энергетических объектов на экологическую ситуацию, рассматриваемые при создании нового оборудования либо при оптимизации режимов работы или реконструкции существующего, следует сегодня считать вопросами повышения надежности функционирования энергетических установок.

Российским законодательством для традиционных тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, были установлены нормы выброса оксидов азота и серы в соответствии с ГОСТ Р 50831-95 «Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования». В связи с этим на большинстве ТЭС России необходимо внедрение природоохранных технологий, эффективность которых позволила бы сохранить существующий парк котельных агрегатов, продлив, тем самым, срок их эксплуатации.

В настоящее время существует значительное количество методов и технологий, позволяющих производить очистку дымовых газов ТЭС от вредных составляющих. Эффективность этих мероприятий достаточно высока, однако существенным их недостатком является высокая стоимость оборудования и эксплуатации, а также сложность технологических процессов и необходимость осуществления конструктивных изменений элементов энергетического оборудования и котельных агрегатов в частности.

В то же время при рассмотрении существующих методов очистки дымовых газов от вредных составляющих актуальным является вопрос сохранения надежности, безотказности и экономичности работы котельных установок. Так, например, режимные способы подавления оксидов азота, основанные на изменении режима горения, обладают общим недостатком, который заключается в снижении эффективности способа при снижении нагрузки (происходит дисбаланс соотношения топлива-воздух), повышенном количестве горючих в уносе и интенсивной коррозии нижней радиационной части поверхностей нагрева. При упрощенном двухступенчатом сжигании серосодержащего топлива на котлах сверхкритического давления возможна также высокотемпературная коррозия экранных поверхностей нагрева. Кроме этого поддержание работы котельного агрегата с применением режимных мероприятий требует наличия современных средств автоматизации и высокой квалификации персонала, т.к. возникает необходимость постоянного контроля процесса горения.

Среди способов сероочистки наибольшее влияние на надежность и экономичность котельного агрегата оказывают сухие способы. Это связано с тем, что преднамеренный ввод в топку котельного агрегата адсорбентов, содержащих известь или соду, вызывает снижение температуры в ядре факела, перерасход топлива на поддержание заданной нагрузки котла, увеличение расхода электроэнергии на собственные нужды, обусловленное ростом объема дымовых газов и количества золы, и как следствие, интенсивный эрозионный износ поверхностей нагрева. К тому же применение сухой известняковой технологии может приводить к изменению температуры плавления золы. Поэтому применение этой технологии возможно при сжигании углей, зола которых имеет температуру размягчения 1300°C и выше, поскольку способно вызывать повышенное шлакование поверхностей нагрева котла, снижая тем самым его надежность.

Надежность котлоагрегата во многом зависит от конструкции и работы топочных устройств, что также является немаловажным при разработке технологических мероприятий по повышению экологичности сжигания твердых топлив.

Поскольку в современных конструкциях котельных установок применяются различные схемы расположения горелок, компоновки поверхностей нагрева и схемы экранирования топочных камер, то в каждом из таких вариантов установок в большей мере негативному воздействию со стороны технологий, применяемых в процессе очистки дымовых газов, оказываются подверженными соответствующие элементы конструкции. Основное проявление негативного воздействия на надежность и безотказность работы элементов котла связано с эрозионным износом, интенсивность которого является различной для различных методов очистки.

Эксплуатация котлов сопровождается сложными физическими и химическими процессами в пароводяном тракте, в газовоздушном тракте, в металле, из которого изготовлены элементы энергооборудования. Процессы горения, теплообмена, коррозии, образования отложений на поверхностях нагрева, изменения свойств и характеристик металла также в значительной мере определяют показатели надежности котлов.

Однако теплотехническая надежность котельного агрегата зависит не только от работы отдельных его конструктивных элементов, но и от отклонений параметров процессов, протекающих внутри. Для объективной оценки процесса снижения надежности, наблюдаемого в случае применения какого-либо метода очистки дымовых газов, не

связанного с применением дополнительного оборудования, важно знать закономерности влияния этого метода на отдельные теплотехнические параметры работы котла.

Как известно из теории надежности, практически все единицы, которые используются в ходе проектных расчетов котельного агрегата (например, по нормативному методу), носят, как правило, случайно-вероятностный характер. Следовательно, само понятие теплотехнической надежности подразумевает в своей основе случайный характер изменения и распределения теплотехнических параметров.

Пользуясь основами вероятностного подхода к определению теплотехнической надежности, используемого в ядерной энергетике, возможно производить оценку влияния различных видов сорбционной очистки дымовых газов от вредных примесей на отклонение теплотехнических параметров котла, которые наглядно характеризуют вероятность работы котельного агрегата в некотором конкретном диапазоне нагрузок. В этом случае отклонения теплотехнических параметров определяются целым рядом факторов, таких как допуски на изготовление, эксплуатационные отклонения режимов работы и параметров котла, т.е. значения, полученные в результате непосредственного измерения показателей или справочные данные – эти отклонения носят случайный характер.

Рассмотрим виды отклонений теплотехнических параметров, которые в различной степени влияют на надежность работы котельного агрегата в случае сорбционной очистки продуктов сгорания, осуществляемой в объеме котла.

При эксплуатации котельного агрегата с номинальной нагрузкой фактические значения параметров, характеризующих его работу, в некоторой степени отличаются от номинальных значений, установленных соответствующими проектными решениями и техническими условиями.

Большинство отклонений параметров работы котла от значений соответствующих номинальной нагрузке в условиях эксплуатации носят случайный характер. Истинные значения этих параметров могут быть определены приближенно с некоторой долей вероятности.

Отклонения теплотехнических параметров от номинальных значений условно подразделяются на две категории:

- эксплуатационные отклонения;
- технологические отклонения.

Эксплуатационные отклонения происходят вследствие несоответствия условий работы проектным режимам, нарушений производственных инструкций, случайных ошибок вахтенного персонала.

Чтобы получить объективную оценку влияния какого-либо метода снижения вредных выбросов на надежность, необходимо вести рассмотрение эксплуатационных отклонений отдельно от технологических, поскольку это позволит добиться сопоставимости при сравнении нескольких методов между собой и наглядности представления реального уровня надежности котла. Такой же подход используется при проектировании ядерных реакторов по условиям обеспечения их высокой надежности.

При выполнении конструкторского теплового расчета парового котла определяются размеры поверхностей нагрева котла, которые по техническим условиям должны обеспечивать заданную производительность котла и параметры пара на выходе из пароперегревателя. При этом методика расчета подразумевает использование многочисленных табличных данных и коэффициентов, совместно с абсолютно точными исходными данными, положенными в основу расчета, и не учитывает того, что в реальных условиях работы котла эти данные могут иметь значения, отличные от принятых. Это, в конечном итоге, влияет на выходные параметры котла.

Характерные технологические отклонения теплотехнических параметров работы котлов вызываются большими тепловыми развертками в поверхностях нагрева, ускоренным их золовым износом в силу недостатков проектирования. Распространены нарушения процесса гибки, литья, термообработки деталей из жаропрочных сталей, сварки.

Использование какого-либо конкретного способа снижения выбросов с дымовыми газами ТЭС, основанного на вводе в топку котла адсорбентов, вызывает несоответствие фактических характеристик углей нормативным и приводит к отклонению от заданных объемов продуктов сгорания и температуры на выходе их топки и как следствие – к нарушению работы конвективной части котла, увеличению золового износа.

Очевидно, что эти отклонения будут также иметь статистическую природу и случайный характер, поэтому результаты расчетов отдельных элементов и параметров работы котла будут также случайными, и полученная вероятность реализации этих параметров будет являться теплотехнической надежностью.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В НЕПРОТОЧНОМ ДЛЯ ГАЗА КАНАЛЕ

Польгуль А.М.

Научный руководитель: Юхнов В.Е., к.т.н.

Томский Политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [Polgul-alex@mail.ru](mailto:Polgul-alex@mail.ru)

В большинстве отраслей народного хозяйства, промышленности особенно в энергетике, используются процессы теплопередачи. Эффективность технологического оборудования и его металлоемкость в основном определяется максимально возможными тепловыми нагрузками на единицу поверхности. В настоящее время наиболее перспективными являются теплообменники, в которых рабочее вещество претерпевает фазовые превращения, в частности происходит пленочная конденсация на внешней поверхности трубки конденсатора. При этом в качестве рабочих тел служат чистые вещества. Несмотря на значительное количество исследований теплообмена конденсации пара в вертикальной трубе [8] этот вопрос не решен с исчерпывающей полнотой и остается актуальным. Известно, что использование смесей паров и газов влияет на условия теплообмена, а величина этого эффекта в каждом конкретном случае требует достаточно трудоемких исследований.

В корпусе конденсатора 1 установлена вертикально трубка 2 из нержавеющей стали наружным диаметром 16 мм и толщиной стенки 1 мм. В нижнюю часть установки залито рабочее вещество 3 - хладон, который испаряется нагревателем 4, запитанным от регулируемого автотрансформатора 5 (РНО-250-5). Конденсаторная трубка охлаждается водой, объемный расход которой измеряется с помощью счетчика воды. Температура охлаждающей воды измеряется на входе и выходе из трубки хромель-капелевыми термопарами ТП1 и ТП2, которые подключены к измерительному прибору (УКТ38). Давление пара в конденсаторе измеряется образцовым манометром 6.

Порядок проведения опыта следующий. Устанавливается некоторый расход жидкости через конденсаторную трубку. Затем подается электрическая нагрузка на электронагреватель и по манометру определяется величина давления пара в конденсаторе. После установления стационарного режима проводится запись в журнал наблюдений времени проведения опыта, давление пара по показаниям манометра (P, кгс/см<sup>2</sup>), показаний термопар ТП1 и ТП2, расход охлаждающей воды (V, м<sup>3</sup>/с).

Предлагается схема установки, приведенная на рис. 1, для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации в присутствии неконденсирующейся примеси.

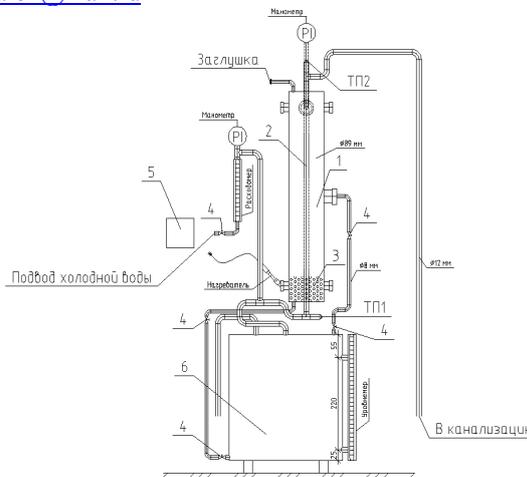


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

1-Корпус конденсатора; 2-Вертикальная трубка из нержавеющей стали Ø 16x1; 3-Рабочее вещество хладон; 4-Вентиль; ТП1-ТП2-Термопары; 5-Автотрансформатор; 6-Бак с хладагентом.

При проведении опыта были получены результаты приращения температуры воды на входе, которые показаны графически на рис. 2,

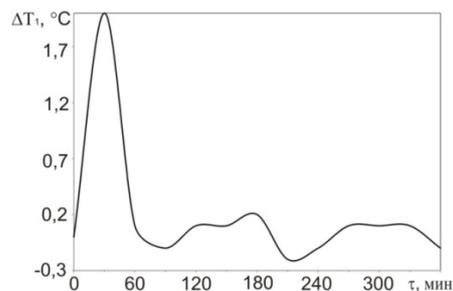


Рис. 2. Приращение температуры воды на входе в стенд

а также определен график зависимости приращения температуры воды от времени на выходе из стенда на рис.3.

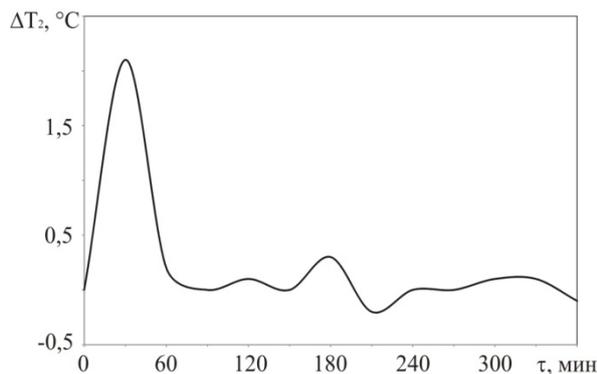


Рис. 3. Приращение температуры воды на выходе из стенда

Как видно из графиков, установившийся режим теплообмена в конденсаторной трубке наступает через час после включения стенда.

На теплообменнике имеется два вида нагревателя, это нагреватель с большей площадью поверхности нагрева далее (большой нагреватель) расположенный на верхней части теплообменника и предназначен для нагрева парогазовой смеси. Нагреватель с меньшей площадью поверхности нагрева далее (малый нагреватель) расположенный на нижней части теплообменника и используется для нагрева жидкого хладагента. При электрическом сопротивлении большого нагревателя  $R_1=44,5$  Ом подаваемое напряжение составляло  $U_1=40$  В, а при сопротивлении малого нагревателя  $R_2=12$  Ом подаваемое напряжение составляло  $U_2=12$  В, таким образом, суммарная электрическая мощность необходимая для испарения хладагента составила  $W=52$  Вт. Внешняя поверхность нагревателей теплоизолирована, что бы уменьшить потери тепла в окружающую среду. Измерение температуры на изоляции поверхности нагрева нагревательных элементов ведется с помощью термопар хромель-капель и фиксируется измерительным прибором (УТК38). Знание температуры на внешней поверхности теплоизоляции позволило определить время выхода стенда на стационарный режим теплообмена с окружающей средой. Это время составило 6 часов и результаты приведены на рис. 4.

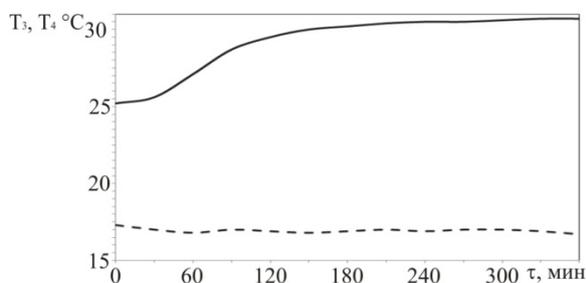


Рис. 4. Изменение температуры на внешней поверхности изоляции

## ВЫВОД

В результате проведения испытаний стенда показана принципиальная возможность создания условий для пленочной конденсации пара из парогазовой смеси. Следующим этапом, предполагается провести опытное исследование и расчет теплообмена при испарении и конденсации хладагента R-21 в присутствии примеси воздуха.

Предлагаемый стенд позволит провести исследование и получить результаты позволяющие повысить эффективность используемых теплообменных аппаратов в энергетике, химической и нефтегазовой промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977.
2. Консетов В.В. К вопросу о теплоотдачи при конденсации пара внутри горизонтальных труб. – Изв. вузов Энергетика, 1961, №12.
3. Консетов В.В. Теплообмен при конденсации пара внутри горизонтальных труб. – ИФЖ, 1960, т. 3, №6.
4. Кутателадзе С.С. Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред. – М.: Государственное энергетическое издательство 1961.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Новосибирск.: Издательство «НАУКА» сибирское отделение 1970.
6. Дорохов А.Р., Логинов В.С. Учебное пособие. Теплообмен при испарении и конденсации. – Томск 1998.
7. Киселев Ю.Ф., Атрощенко Л.С. Теплообмен при пленочной конденсации в произвольно ориентированной трубе. – Промышленная теплоэнергетика 1981, №5.
8. Исаченко В.П., Саломзода Ф., Шалахов А.А. Исследование теплообмена при пленочной конденсации водяного пара в вертикальной трубе. – Теплоэнергетика 1974, №9.
9. Халмэ М.В., Авдеев С.Г., Смирнов Ю.Б. конденсация пара из парогазовой смеси в непроточном для газа канале.

## ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Понуровская В.В.

Научный руководитель: Мазурин И.М. д.т.н., в.н.с.

ОАО «ЭНИН им. Г.М.Кржижановского» 119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 19

E-mail: [berenika973@mail.ru](mailto:berenika973@mail.ru)

Россия использует пять основных источников: гидроэнергию, энергию угля, газа и нефти а также ядерную энергию. Возобновляемыми и, до определённого момента второстепенными источниками энергии, являются торф, лес, сланцы, геотермальные источники, энергия ветра и приливов, а также солнечная энергия. Причём последние три источника в России существенно уступают по объёмам расходуемой энергии первым четырём.

Предельно экономное использование сырья и энергоресурсов осознано в мире после энергетического кризиса 1973 года. Идея энергоресурсосбережения была оформлена в международном стандарте качества ISO-9001(1987г) и «Повестке дня на 21-й век» - одном из основных документов конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992г.). Но уже в 1994 году первичный текст ISO-9001 был изменён. Из стандарта исчезли понятия «петли качества» и «входного контроля», а термин «энергоресурсосбережение» был редуцирован до «энергосбережения». А с 1996 года по Монреальскому протоколу в мире введены запреты на использование хлорсодержащих фреонов.

Последствия от Монреальского протокола после введения запретов на использование хлорсодержащих фреонов оказались следующими:

- Потребление электроэнергии в холодильных агрегатах увеличилось на 15-25% от замены на гидрофторуглероды.

- Прекращено внедрение законченных разработок фреоновых контуров для использования бросового тепла в целях увеличения КПД (на 5-8%) действующих ТЭЦ.

- Геотермальные станции вообще остались без эффективных рабочих тел.

- В 2011 году эти убытки России от запретов на фреоны составили уже 45-75 млрд. \$

Организация Объединённых Наций по промышленному развитию (ЮНИДО) выступает за включение в Монреальский протокол запретов не только хлорфторуглероды и гидрохлорфторуглероды, но и гидрофторуглероды. В соответствии с протоколом к 2015 году Российская Федерация должна сократить потребление гидрохлорфторуглеродов на 90% от базового. Вывод из этого нововведения очевиден: альтернативная энергетика России,

имеющая мощный потенциал возобновляемых источников энергии, в отсутствие рабочих тел не имеет перспектив.

Однако, научная обоснованность Монреальского и Киотского протоколов до сих пор не подтверждена Российской Академией Наук. Не говоря уже о том, что по некоторым нормативным документам (ГК РФ и Венская конвенция о праве международных договоров 1969 года) оба протокола можно признать вообще недействительным. Поэтому мы предлагаем следующие схемы решения задачи энергоресурсосбережения:

1. Использовать технологию производства древесно-угольных брикетов каталитического горения [1] для генерации тепловой энергии в турбинном цикле на фреонах. Это предложение уже разрабатывалось ЭНИНом в 90-е гг. по заказу Министерства Обороны. Сама технология приготовления древесно-угольных брикетов была разработана тоже в ЭНИНе во время Великой Отечественной войны профессором М.Б. Равичем. Гипотетические запасы древесного угля в нашей стране самые большие в мире, т.к. на 1 человека приходится 5 га леса. Только по санитарным рубкам на человека приходится 10 м<sup>3</sup> в год; в уголь при пиролизе древесины переходит 12%, т.е. не менее 1т угля в год. К этому стоит прибавить, что в России ежегодно образуется 200 млн. м<sup>3</sup> отходов и столько же древесного мусора, что эквивалентно 0,3 т угля на человека в год. При сжигании полученного топлива образуется примерно 10705 кВт-ч тепловой энергии. Этой энергии достаточно для отопления жилища в течение 220 холодных суток для одного человека в неутеплённом доме, т.е. население России полностью обеспечено необходимым теплом за счет лесных ресурсов. В лаборатории 0403 ЭНИН-а по заказу Министерства Обороны России – ЗАО «НПО «Проектспецтехника»» были проведены исследования, на основе которых разработаны отопительные устройства для использования в специальных мобильных контейнерах для проживания людей [2].

Кроме отходов деловой древесины и отходов от санитарных рубок, сырьём для предложенной технологии могут служить отходы с баз по растариванию сортового угля, который в

большом количестве производится для нужд металлургии и в качестве топлива для каминов. Пиролизированные отходы сельского хозяйства, такие как солома, костра, ореховая скорлупа, также могут быть сырьём [3]. Сырьём также может быть и пиролизированный торф, по запасам которого наша страна занимает первое место в мире. Окисление древесно-угольных брикетов в любом случае даёт около 7000 ккал/кг (28000 кДж/кг или 8 кВт·ч тепловой энергии). Примерно такое же количество энергии даёт окисление каменных углей высшего сорта Донецкого или Кузнецкого бассейнов. Себестоимость 1 кВт·ч тепловой энергии, полученного при горении брикетов каталитического окисления, равна примерно 1 рублю. Следовательно, такая технология генерации электроэнергии уже сейчас становится более конкурентоспособной по сравнению с другими схемами получения электроэнергии.

2. Использовать азеотропные хладагенты на основе фторуглеродов с целью уменьшения энергопотребления в холодильных циклах как минимум на 12%. Физический смысл исследованного эффекта известен с 1978 г. по работе к.х.н. Хазановой Н.Е [4]. Его причина в выделении и поглощении энергии при образовании и разрушении ассоциативных связей, характерных для азеотропных смесей отрицательного типа. Для азеотропных смесей положительного типа эффект обратный, поскольку для них характерны диссоциативные связи. В холодильной технике азеотропные смеси положительного типа хорошо известны. Это хладагенты с номерами 501, 502, 503 и т.д. Кривые насыщения этих смесей выше, а теплота испарения у них всегда ниже, чем у веществ, их образующих. У азеотропной смеси кривая насыщения расположена ниже и теплота испарения больше на 4,5 %, чем у основного компонента. Простых решений по использованию тепловых эффектов, получаемых при образовании и разрушении ассоциативных связей в азеотропных смесях, принципиально быть не может, поскольку речь идёт о работе хладагента в холодильном компрессионном цикле. Однако один, исключительно важный тепловой эффект, наблюдается постоянно. При сжатии азеотропа (Хладона-510) [5] после испарителя в компрессоре температура обмоток была на 25-30°C ниже, в сравнении с любым

другим фреоном. Причина здесь совершенно ясна. При повышении давления азеотропная смесь разрушается и при этом происходит поглощение энергии из-за разрыва ассоциативных связей. Для обмоток компрессора, работающих при температуре 110-115°C понижение температуры исключительно важно, особенно при эксплуатации в условиях высокой температуры окружающей среды, которая может достигать +32°C, или быть даже выше. В общей оценке полученного эффекта важно отметить величину энергетической эффективности отрицательного азеотропа (Хладона-510), достигающую 30 % в сравнении с R-12 и R-22 при температурах кипения ниже -30°C.

3. Использовать каталитическое окисление попутного газа [6] для получения электроэнергии в турбинном цикле с использованием фторуглеродов в качестве рабочих тел.

#### Литература:

1. Патент на изобретение «Топливный брикет» №2378325, авторы: Мазурин И.М., Пономаренко Б.А., приоритет изобретения от 29 февраля 2008 года.
2. Патент на изобретение «Отопительно-варочное устройство с вертикальной кладкой твердого топлива плотным слоем» №2393384, авторы: Мазурин И.М., Пономаренко Б.А., приоритет изобретения от 6 апреля 2009 года.
3. Техническая справка по теме: «Поисковые исследования по созданию принципов построения структуры высокоэффективного источника энергоснабжения на возобновляемом топливе.», ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского», Москва, 2001.
4. Н.Е. Хазанова. Системы с азеотропизмом при высоких давлениях. Химия. М.1978.
5. Патент на изобретение «Рабочая смесь для холодильных машин» №2057779, автор Мазурин И.М., приоритет изобретения от 10 апреля 1996 года.
6. Патент на изобретение «Способ приготовления катализатора для глубокого окисления углеводородов» №2053019, автор Коробской Б.С., приоритет изобретения от 22 июля 1992 года.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Работаев С.А.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [www.rabotaev88@mail.ru](mailto:www.rabotaev88@mail.ru)

Теплоизоляционные конструкции оборудования и трубопроводов ТЭС и АЭС при монтаже и в процессе эксплуатации подвергаются воздействию влаги, температурным, влажностным, вибрационным воздействиям, которые определяют требования, предъявляемые к изоляции.

Основные показатели, характеризующие физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, следующие: теплопроводность, плотность, вибрационная стойкость, стабильность формы, горючесть, водостойкость и т. п.

Теплопроводность теплоизоляционного материала определяет требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а, следовательно, и нагрузки на изолируемый объект, конструктивные и монтажные характеристики теплоизоляционного покрытия.

В настоящее время на российском рынке теплоизоляционных материалов помимо традиционных видов применяемых многие десятилетия – как правило минеральная вата и ее аналоги, появляется огромное количество новых жидкокерамических теплоизоляционных материалов (ЖКТМ), таких как TC Ceramic HB, (Thermal Coat), Mascoat, TSM Ceramic, Альфатек, Изолат, Астратек, Корунд. Все жидкокерамические теплоизоляционные материалы схожи по своей структуре и способу изготовления. Жидкий утеплитель представляет собой суспензию на основе структурированных акриловых полимеров. Наполнителем и теплоизолирующей составляющей в котором являются мельчайшие стеклянные и керамические капсулы, внутри которых находится вакуум (или инертный газ).

По консистенции ЖКТМ напоминает обычную краску, которую можно наносить на любую поверхность, в том числе металлическую. Толщина одного слоя покрытия составляет от 0,38 до 3мм. После высыхания образуется эластичное полимерное покрытие, которое обладает уникальными теплоизоляционными свойствами и обеспечивает антикоррозийную защиту.

Целью настоящей работы является исследование теплозащитных свойств, а именно коэффициента теплопроводности, одной из широко применяемых на практике жидкой теплоизоляционной композиции торговой марки «Корунд» [1].

В нормативно-технической документации ЖКТМ «Корунд» [1] приведены сведения о значениях параметров материала и о ряде его преимуществ.

«Корунд» можно наносить на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а также на оборудование, трубопроводы и воздуховоды.

«Корунд» имеет идеальную адгезию к металлу, пластику, пропилену, что позволяет изолировать покрываемую поверхность от доступа воды и воздуха.

«Корунд» не проникает для воды и не подвержен влиянию водного раствора соли. Покрытия «Корунд» обеспечивают защиту поверхности от воздействия влаги, атмосферных осадков и перепадов температуры и эффективно снижает тепловые потери и повышает антикоррозионную защиту.

Например, слой покрытия «Корунд» толщиной в 1 мм обеспечивает те же изоляционные свойства, что и 50 мм рулонной изоляции или кирпичная кладка толщиной в 1–1,5 кирпича.

Главным уникальным теплоизоляционным свойством данного жидкого утеплителя [1] является значение коэффициента теплопроводности – 0.0012 Вт/(м·К).

Исследования теплозащитных свойств «Корунда» проводились в период с 20 апреля по 20 мая 2011 года на Томской ГРЭС – 2.

В качестве объекта исследования был выбран первый участок на входе в ПСГ-2300-8-1 ТГ-8 (подогреватель сетевой горизонтальный). Исследования проводились для трубопровода диаметром 820мм, изготовленного из стали 20 (толщина стенки 9мм), тепловая изоляция – «Корунд» (толщина 1,5мм).

На рисунке показан фрагмент подогревателя ПСГ-2300-8-1 ТГ-8, изолированного ЖКТМ «Корунд».



Рис. Фрагмент подогревателя, изолированного ЖКТМ «Корунд»

Целью исследования являлось измерение температуры на поверхности рассматриваемого объекта (рисунком). Измерения температур проводились по контуру, по нескольким произвольно выбранным точкам в одном сечении. Измерение температуры поверхности производилось с помощью пирометра. Также фиксировались температуры окружающей среды и теплоносителя на входе в подогреватель.

Далее, используя сведения о геометрических характеристиках и значениях характерных температур, решалась обратная задача теплопроводности для цилиндриче-

ского слоя тепловой изоляции. На внутренней поверхности слоя изоляции выставлялись граничные условия первого рода, а на внешней – граничные условия третьего рода. Также на внешнем контуре учитывался теплообмен излучением. Целью решения этой задачи являлось определение значения коэффициента теплопроводности по известной температуре на внешней поверхности изоляции.

Математическая постановка задачи для решаемой задачи имеет следующий вид:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0, \quad (1)$$

$$r = r_1,$$

$$T = T_1 = \text{const}, \quad (2)$$

$$r = r_2,$$

$$-\lambda \frac{dT}{dr} = \alpha(T - T_3) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_3^4). \quad (3)$$

*Обозначения:*  $T$  – температура, К;  $r$  – текущий радиус, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\varepsilon$  – степень черноты,  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана.

*Индексы:* 1 – внутренняя поверхность, 2 – внешняя поверхность, 3 – окружающая среда.

Рассматриваемая задача (1)–(3) решена с помощью пакета моделирования COMSOL Multiphysics [2] с использованием средств и функций модуля General Heat Transfer.

Модуль General Heat Transfer предназначен для моделирования задач теплопередачи в произвольной комбинации механизмов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).

В таблице приведены результаты расчета коэффициента теплопроводности по известной температуре на поверхности изоляции.

Таблица. Результаты расчета

Температура поверхности, К	Значение теплопроводности, Вт/(м·К)			Отклонение в расчетах, %	
	Табличное	Расчетное с учетом излучения	Расчетное без учета излучения	С учетом излучения	Без учета излучения
321.3	0.0012	0.0015	0.0009	20.0	25.0

Результаты расчета, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что учет теплового излучения на внешнем контуре рассматриваемой системы позволяет существенно уточнить получаемые результаты.

Обобщение результатов экспериментального определения температуры поверхности изоляции и численного решения обратной задачи теплопроводности позволяет сделать вывод о том, что заявленное производителем [1] значение теплопроводности исследованного материала не отвечает действительности. В среднем отклонение полученных в данной работе значений коэффициентов теплопроводности от табличных значений составляет 20 %.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).*

#### Литература:

1. Сверхтонкая теплоизоляция Корунд. 2012. URL: <http://www.nano34.ru/> (дата обращения: 16.02.2012).
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 78 с.

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ВОДЯНЫХ ПАРОВ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ В ВИХРЕВОЙ ЗОНЕ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ

Родина Л.Ю., Орлова Л.В.

Научный руководитель: Лебедев Б.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [rodina\\_lubov@sibmail.com](mailto:rodina_lubov@sibmail.com)

Концентрация водяных паров напрямую зависит от размера частиц, поступающих в топочную камеру котла (рис. 1). Каждая частичка пыли содержит определенное количество влаги. Чем дольше по времени частица находится в топочной камере котла, тем более полно она способна отдать свою влагу [1].

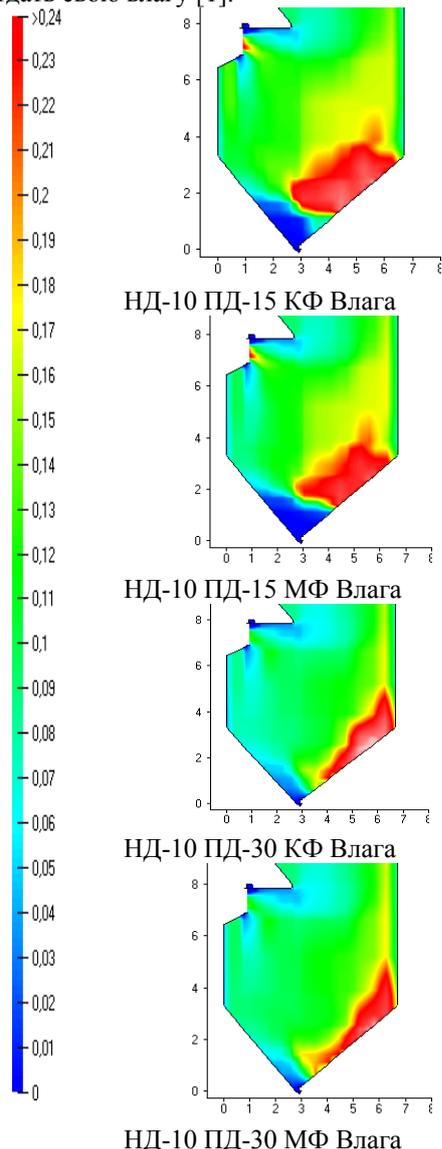


Рис. 1 – Концентрация водяных паров в дымовых газах в продольном сечении вихревой зоны топочной камеры через ось горелки для крупной и мелкой фракций (НД-10).

Для рассмотрения зависимости формирования газовых полей от размеров частиц выберем четыре крайних режима (рис. 2 и 3):

– Скорость нижнего дутья равна 10 м/с, скорость горелочного дутья равна 15 м/с, скорость

вторичного дутья равна 37 м/с (НД-10, ВД-37, ПД-15);

– Скорость нижнего дутья равна 10 м/с, скорость горелочного дутья равна 30 м/с, скорость вторичного дутья равна 29 м/с (НД-10, ВД-29, ПД-30);

– Скорость нижнего дутья равна 25 м/с, скорость горелочного дутья равна 15 м/с, скорость вторичного дутья равна 30 м/с (НД-25, ВД-30, ПД-15);

– Скорость нижнего дутья равна 25 м/с, скорость горелочного дутья равна 30 м/с, скорость вторичного дутья равна 22 м/с (НД-25, ВД-22, ПД-30).

Область высоких концентраций водяных паров в дымовых газах для режима НД-10 ПД-15 расположена в нижней части вихревой зоны топки (область возле задней стенки ската холодной воронки). При увеличении размера фракции зона высоких концентраций увеличивается. Размер фракций оказывает незначительное влияние при увеличении скорости первичного дутья [2].

Область низких концентраций расположена в районе подачи топливно-воздушной смеси, а также в районе холодной воронки в месте расположения нижнего дутья. С уменьшением размера частиц область низких концентраций уменьшается.

Поскольку области высоких и низких концентраций увеличивается с увеличением крупности фракций – уменьшается зона средних концентраций.

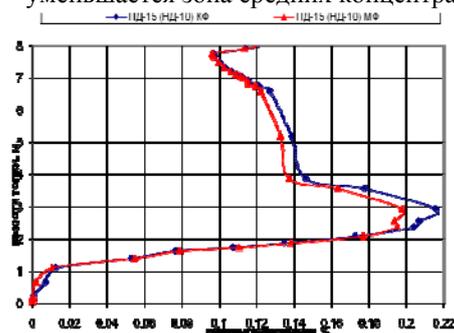


Рис. 2 – Концентрация водяных паров в дымовых газах при крайних режимах для крупной и мелкой фракций

При рассмотрении графиков (рис. 2) видно, что кривые совпадают при влиянии нижнего дутья (до 3 м). Расхождение значений для крупной и мелкой фракции находится в диапазоне от 19,77 % до 21,56 % ( $\Delta \approx 1,79\%$ ).

Кривые (рисунок 3) достигают максимальных значений на уровне 2,944 м от нижней точки

топочной камеры, 18,61 % - (ПД-30 НД-10 КФ), 16,77 % - (ПД-30 НД-10 МФ).

С увеличением скорости первичного дутья расхождение кривых в нижней части топочной камеры становится больше, поскольку поток проникает в нижнюю часть вихря

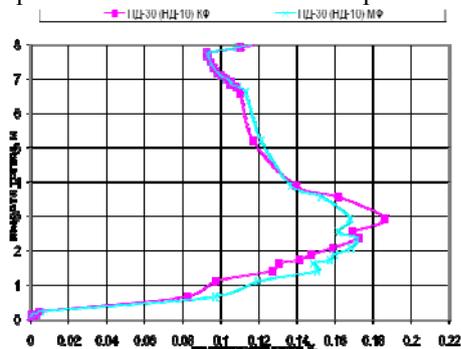


Рис. 3 –

Концентрация водяных паров в дымовых газах при крайних режимах для крупной и мелкой фракций. При рассмотрении графиков (рис. 4) видно, что кривые совпадают при влиянии нижнего дутья (до 3 м). Графики по своей структуре с нулевого значения возрастают до максимума 18,81 % для (ПД-30 НД-25 КФ), 17,07 % для (ПД-30 НД-25 МФ).

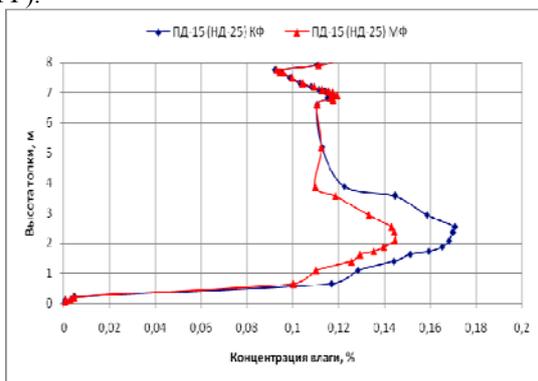


Рис. 4 – Концентрация водяных паров в дымовых газах при минимальных и максимальных значениях первичного и нижнего дутья

Кривые (рис. 5) достигают максимальных значений на уровне 2,944 м от нижней точки топочной камеры, 18,61 % - (ПД-30 НД-10 КФ), 16,77 % - (ПД-30 НД-10 МФ).

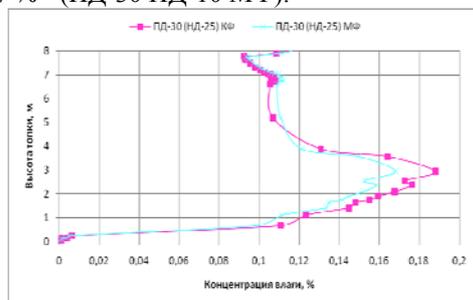


Рис. 5 – Концентрация водяных паров в дымовых газах при минимальных и максимальных значениях первичного и нижнего дутья

С увеличением скорости первичного дутья расхождение кривых в нижней части топочной камеры становится больше, поскольку поток проникает в нижнюю часть вихря.

Вывод:

1. При одних и тех же показателях скорости при крупной фракции содержание  $H_2O$  в дымовых газах больше, чем при мелкой фракции, за счет того что, при мелкой фракции большая часть топлива уносится в прямоточную часть факела и выделение влаги происходит там.
2. С увеличением скорости первичного дутья при постоянном нижнем дутье влажность дымовых газов как для крупной фракции, так и для мелкой фракции уменьшается.
3. Графики изменения (рисунки 3, 4, 5, 6) концентрации водяных паров в дымовых газах имеют одинаковую структуру при сравнении крупных и мелких фракций. По значениям есть некоторые расхождения. Наиболее сильные различия наблюдаются на высоте завихрения потока (около 3 м от устья холодной воронки). Постепенно приближаясь к выходу вихревой зоны, различия между концентрациями водяных паров для крупных и мелких частиц сводится к минимуму.
4. С уменьшением размеров частиц концентрация водяных паров в дымовых газах уменьшается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лебедев Б.В. Заворин А.С. Распределение минеральной части угля в горизонтальном вихревом низкотемпературном факеле// Известия Томского политехнического университета.-2009.-№5, Том 315 - С.15-20
2. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д.М. Хзмаляна. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М., «Энергия», 1976. – 488 с.: ил.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАГРЕВА

Рожков А.В., Молодов С.В.

Научный руководитель Рогов И.В., к.т.н., доцент

Тамбовский государственный технический университет, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Советская, д.106

E-mail: [teplotehnika@nnm.tstu.ru](mailto:teplotehnika@nnm.tstu.ru)

В настоящее время широко распространяется и находит себе применение во многих областях науки метод периодического нагрева, который позволяет исследовать широкий класс явлений, проявляющихся в особенностях поведения тепловых свойств веществ [1]. Метод периодического нагрева тесно связан с таким понятием, как температурная волна. Температурная волна – процесс, в течение которого имеют место пространственно-временные изменения температуры [2].

Простейший тип – гармоническая плоская температурная волна – имеет вид:

$$T(x, \tau) = T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a \cdot x}}} \cos \left( \omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a \cdot x}} + \varphi \right),$$

где  $t$  – время,  $x$  – координата, вдоль которой распространяется волна,  $T_0$  – амплитуда колебаний температуры на поверхности  $x = 0$ ,  $\omega$  – частота колебаний температуры,  $\varphi$  – начальная фаза колебаний температуры в плоскости  $x = 0$  [1].

Амплитуда и фаза температурной волны несут основную информацию о свойствах исследуемой системы, что определяет отличительные черты метода:

– большое количество информации, получаемой в ходе эксперимента;

– возможность контроля одной из переменных при наличии независимых данных о другой переменной [3].

Другой особенностью теплового метода периодического нагрева является высокая помехоустойчивость, что позволяет проводить эксперименты при низком уровне температурных возмущений [1].

Метод периодического нагрева применим для определения теплофизических свойств (ТФС) твердых неметаллических материалов. В случае неразрушающего контроля (НК) материалов активными тепловыми методами искомые ТФС проявляются через температурный отклик исследуемого объекта на тепловое воздействие, которому подвергается объект в специально организованном эксперименте [4].

Важным преимуществом гармонического теплового воздействия (в сравнении с другими) является возможность управлять в широких пределах частотой колебаний источника, что существенно упрощает условия оптимизации режима опыта и позволяет снижать влияние теплообмена исследуемого объекта со средой. В опытах удается непосредственно регистрировать фазовый сдвиг температурных волн.

Наиболее сложной и важной задачей при создании новых методов НК ТФС является разработка физико-математических моделей, адекватно описывающих тепловые процессы в объектах контроля. В работе [5] представлена математическая модель теплопереноса в системе двух тел при гармоническом тепловом воздействии. Получено решение, которое может быть использовано для определения размеров слоев в многослойных изделиях, а также для нахождения ТФС исследуемых материалов [5].

Схема измерительной системы, позволяющей реализовать рассматриваемый метод, представлена на рис.1

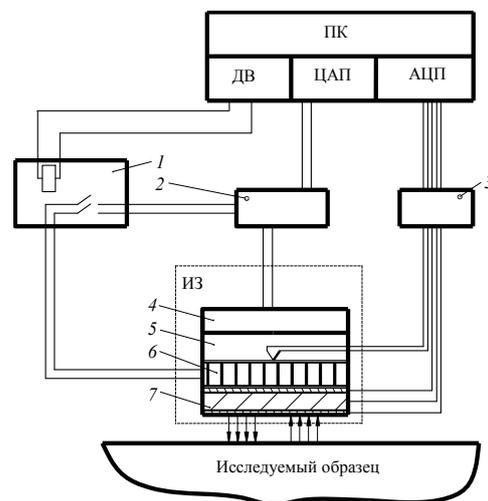


Рис. 1. Схема измерительной системы

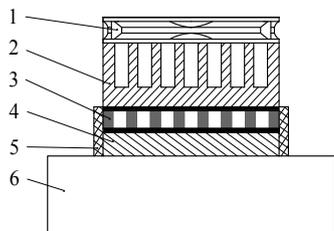
1 – блок управления, 2 – блок питания, 3 – блок компенсации холодных спаев, 4 – вентилятор, 5 – радиатор, 6 – элемент Пельтье, 7 – термомер.

ИС состоит из измерительного зонда (ИЗ), блоков управления и питания подсистемы, персонального компьютера (ПК). Подсистема управления и питания ИС включает в себя: блок управления, блок питания, блок холодных спаев термопар.

Управление и регистрация измерительной информации осуществляется с помощью ПК, оснащенного многофункциональной платой сбора данных PCI-1202Н. На аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) платы сбора данных поступают сигналы от термомера и термопары. Термопара, встроенная в радиатор, регистрирует значения температуры на границе поверхности элемента Пельтье и радиатора. Сигналы с измеренными значениями термоЭДС через блок холодных спаев поступает на АЦП платы.

Напряжение на элемент Пельтье подается от блока питания через контакты блока управления, который управляется ПК через дискретные выходы (ДВ) платы. Питание вентилятора осуществляется от блока питания.

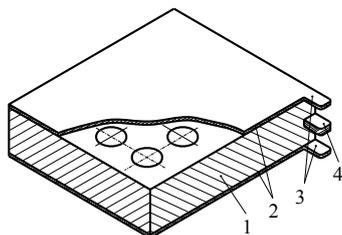
Конструкция ИЗ представлена на рис. 2. ИЗ создает гармоническое тепловое поток и фиксирует значения температуры на поверхности образца. ИЗ состоит из элемента Пельтье, тепломера и охлаждающего устройства: радиатора и вентилятора.



**Рис. 2. Конструкция измерительного зонда**  
1 – вентилятор, 2 – радиатор, 3 – элемент Пельтье  
4 – тепломер, 5 – тепловая изоляция,  
6 – исследуемый образец.

Тепломер или одиночный датчик теплового потока (ОДТП) состоит из промежуточного термоэлектрод с известным коэффициентом теплопроводности, служащего вспомогательной стенкой, и двух других плоских тонкостенных термоэлектродов с токосъемными проводами, образующих термоэлектрическую цепь [4]. Конструкция тепломера представлена на рис. 3. Термоэлектродный промежуточный слой – константан. В качестве тонкостенного термоэлектрода выбрана медная пластина.

При прохождении теплового потока через тепломер на гранях константанового термоэлектрода возникает термоЭДС. По токосъемным выступам термоЭДС подается на измерительную плату. Для увеличения термического сопротивления в константане высверливаются отверстия.



**Рис. 3. Конструкция тепломера**  
1 – константановый промежуточный термоэлектрод,  
2 – тонкостенные медные термоэлектроды,  
3 – медные токосъемные выступы,  
4 – константановый токосъемный выступ.

Крайние слои тепломера изготавливаются из меди, а средний слой – из константана. Припой не должен

иметь обратной термоэлектрической полярности, поскольку снижается эффективность одиночного датчика теплового потока. Поэтому для константановых датчиков нежелательны сурьмянистые припои. Оловянносвинцовые, медноцинковые припои термоэлектрически нейтральны относительно меди.

Поверхности заготовленных пластин лудятся, затем нагреваются до температуры плавления припоя и сжимаются в нагретом состоянии с последующим охлаждением. Константановые пластины лудятся при помощи активного паяльного флюса Ф-38Н. Константановую проволоку раскатывают в ленту, лудят и зажимают между двумя константановыми пластинами, второй конец константановой проволоки отводят в блок компенсации холодных спаев.

Блок холодных спаев (или изотермический блок) изготовлен из алюминия. Изотермический блок покрыт акриловым изоляционным лаком для предотвращения короткого замыкания между концами термопар и блоком холодных спаев. Концы термопар, дополнительно изолированные в термоусадочные трубки, вставлены в отверстия изотермического блока и прижаты винтами. Датчик температуры блока компенсации холодных спаев для идеального контакта покрывается термической пастой КПП-8.

Разработанная ИС реализует метод неразрушающего определения ТФС при периодическом тепловом воздействии на объект контроля и может быть использована для определения размеров слоев в многослойных изделиях.

#### Список использованной литературы

1. Кравчун С.Н., Липаев А.А. Метод периодического нагрева в экспериментальной теплофизике. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2006. – 208 с.
2. Филиппов Л.П. Измерения теплофизических свойств веществ методом периодического нагрева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.
3. Филиппов Л.П. Измерительная переноса. – М.: изд-во МГУ, 1986. – 120 с.
4. Жуков Н.П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий: монография / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 288 с.
5. Моделирование теплопереноса в системе двух тел при шармоническом тепловом воздействии / И.В. Рогов, Н.Ф. Майникова, С.В. Молодов, О.Н. Попов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 360 – 364.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СОГЛАСОВАНИЯ БАЛАНСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЭП ТЭЦ

Сафронов А.В.

Научный руководитель: Щинников П.А. д.т.н., профессор  
Новосибирский государственный технический университет, 630092,  
Россия, г.Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: [a.v.safronov@ngs.ru](mailto:a.v.safronov@ngs.ru)

Как показывают расчеты повышение на 1% эксплуатационного к.п.д. энергоблока за счет оперативного контроля технико-экономических показателей (ТЭП) при использовании информационно-вычислительных систем (ИВС) является эффективным [1].

Однако, само определение технико-экономических показателей возможно лишь с известной точностью, которая зависит от специфических методических погрешностей алгоритма расчета, погрешностей измерительной техники и методики измерений. Рациональный алгоритм расчета ТЭП позволяет существенно снизить влияние первой группы погрешностей на точность конечного результата, но даже при полном исключении погрешностей этой группы фактическая погрешность вычисления ТЭП в рабочем диапазоне измерения параметров при использовании выпускаемых приборов находится в пределах  $0,3 + 0,6\%$  для к.п.д. парогенератора,  $2,3 + 3,0\%$  для показателей турбины и энергоблока [2].

Поскольку экономическая эффективность от применения АСУ ТП на ТЭС лежит в пределах вероятностного значения ТЭП, то повышение точности исходной информации для ИВС чрезвычайно актуально.

Погрешности расчетов ТЭП при использовании ИВС может быть снижена в результате индивидуальной градуировки элементов каналов измерений (эффективным мероприятием для повышения точности является градуировка отдельных элементов или всего измерительного канала с помощью более высокоточной контрольной аппаратуры. Выявленные в процессе градуировки систематические погрешности могут быть затем уменьшены в рабочем диапазоне, либо учтены при вычислении показателей. С помощью индивидуальной градуировки можно снизить погрешность канала измерения мощности генератора более чем на 40%, а расход пара вследствие относительно высокой погрешности сужающих устройств лишь на 15-20%. Полная погрешность показателей турбины и блока снижается при этом на 25% [3]), стабилизации внешних условий (снижение дополнительных погрешностей, которые в совокупности могут даже превышать основную погрешность прибора. Основными мероприятиями, способствующими снижению дополнительных погрешностей является установка приборов в помещения с постоянной температурой и влажностью, стабилизация источников питания, тщательная подгонка сопротивлений входной и выходной цепи, устранение вибра-

ций, влияния магнитных полей и другие мероприятия, а так же подбор для измерений основных технологических параметров приборов, имеющих наименьшие дополнительные погрешности. В результате стабилизации внешних влияющих факторов полная погрешность показателей может быть уменьшена на 20% [3]), применение оптимальных измерительных средств и приборов повышенной точности. В комплексе указанные мероприятия могут снизить погрешности ТЭП до 1,1% для блока в целом [3][4].

Эти мероприятия соответствуют основному направлению развития информационно-вычислительной техники. Наряду с ними, как дополнительные, могут использоваться вероятностно-статистические методы повышения информации [5].

Одной из важных особенностей процесса функционирования энергоблока в реальных условиях является неопределенность истинного его состояния в каждый момент времени. Это неопределенность связана с рядом причин, наиболее важные из которых это:

- некоторые параметры не измеряются
- узкие диапазоны измерения ряда параметров соизмеримы с погрешностью контрольно-измерительной аппаратуры
- численные значения измеряемых параметров оцениваются зачастую с большими ошибками измерений
- инерционность и колебания показателей и характеристик процессов в энергооборудовании ТЭС обуславливают "запаздывание" в объекте и усиливают не сходимости материального и энергетического балансов.

В этом свете применение вероятностно-статистических методов повышения информации, как методов получения информации с минимально возможной неопределенностью, выгодно дополняет основные методы.

Суть методики согласования балансов – в следующем. Несходимость балансовых уравнений (из-за неточности измерений и вычисления):

$$H_k(v_1, \dots, v_n, x_1, \dots, x_u) = -\omega_k,$$

где  $v_n$  – неизмеряемые (рассчитанные) величины;  
 $\omega_k$  – несходимость k-го балансового уравнения.

Введение в балансовое уравнение поправок к каждому члену позволяет получить согласованное балансовое уравнение:

$$H_k (v_1 + \delta_1, \dots, v_n + \delta_n, x_1 + \varepsilon_1, \dots, x_u + \varepsilon_u) = 0,$$

где  $\delta$  и  $\varepsilon$  – соответствующие поправки к измеренной и вычисленной величинам.

Нахождение поправок основано на линеаризации уравнений путем разложения в ряд Тейлора и использования дополнительных условий, вытекающих из представлений о наиболее вероятном распределении погрешностей как минимуме взаимной суммы квадратов поправок:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial H_k}{\partial v_i} \right) \delta_i + \sum_{j=1}^u \left( \frac{\partial H_k}{\partial x_j} \right) \varepsilon_j = \omega_k, \quad (k = 1, \dots, r),$$

$$\left( \frac{\partial H}{\partial v} \right) \lambda = 0, \quad (i = 1, \dots, n),$$

$$\frac{\varepsilon_j}{m_j^2} = \sum_{k=1}^r \left( \frac{\partial H_k}{\partial x_j} \right) \lambda_k, \quad (j = 1, \dots, u),$$

где  $\lambda_k$  – неопределенные множители Лагранжа, выполняющие роль коэффициентов пропорциональности;  $m_j$  – абсолютное значение средне-квадратической погрешности (с учетом методической составляющей) измеренной величины.

В заключении хочется отметить, что:

1. Фактическая погрешность вычислений показателей в рабочем диапазоне изменения параметров при использовании серийно выпускаемых приборов находится в пределах 0,3-0,6% для к.п.д. парогенератора и 2,3-3% для показателей турбины и энергоблока,

2. В результате индивидуальной градуировки элементов каналов измерений основных технологических параметров, стабилизации внешних влияющих величин погрешность показателей может быть снижена до 0,2-0,3% для парогенератора и 1,2-1,4 для показателей турбины и энергоблока,

3. При использовании приборов повышенной точности для измерения важных технологических параметров может быть достигнут более высокий уровень точности вычисляемых показателей энергоблока 0,7-1,4%,

4. Наряду с основными методами повышения точности информационной системы ТЭС возможно применение вероятностно-статистических методов повышения информации, как дополнение к основным.

1. Повышение точности исходной информации в ИВС путем применения методики согласования балансов / Ю.В.Овчинников, Г.В. Ноздренко, В.И. Тимашев / Управление режимами и развитием электроэнергетических систем в условиях АСУ: межвузовский сборник трудов под редакцией В.К. Щербакова. -Новосибирск, 1977. -С.166-174.

2. Применение методики согласования балансов для уточнения исходной информации применительно к ТЭС/ Ю.В. Овчинников, Г.В. Ноздренко, И.М. Алтухов / Управление режимами и развитием электроэнергетических систем в условиях АСУ: межвузовский сборник трудов под редакцией В.К. Щербакова. –Новосибирск, 1980. –С.45-53.

3. Цейтлин Р.А., Степанов В.И., Шестов Э.Д. К вопросу о точности автоматизированного вычисления технико-экономических показателей энергоблока // Теплоэнергетика. -1975. -№ 1-С.8-13.

4. Аракелян Э.К., Панько М.А., Асланян А.Ш. Методические положения оценки технико – экономической эффективности модернизации АСУ ТП электростанций // Теплоэнергетика. -2010. -№ 10-С.45-49.

5. Система информационной поддержки принятия решений при техническом обслуживании оборудования ТЭС / К.Э. Аронсон, В.И. Брезгин, Ю.М. Бродов, Н.Н. Акифьева, А.С. Руденко, Д.В. Брезгин / Электрические станции. -2006. № 10-С.55-61.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Синяков И.В., Тамонин А.В.

Научный руководитель: Логинов В.С., д.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [hedgehog\\_ivs@sibmail.com](mailto:hedgehog_ivs@sibmail.com)

Важное место в формировании энергетики России занимает сектор теплоснабжения страны, который является самым большим по объему потребляемых энергоресурсов — более 45 % их общего потребления. В системах централизованного теплоснабжения (ЦТ) производится более 71%, а децентрализованными источниками — около 29 % всего тепла. Электростанциями отпускаются более 34 % всего тепла, котельными — примерно 50 %. В соответствии с энергетической стратегией России до 2020 г. планируется рост теплотребления в стране не менее чем в 1,3 раза, причем доля децентрализованного теплоснабжения будет возрастать с 28,6 % в 2000 г. до 33 % в 2020 г. [1].

Актуальность применения тепловых насосов (ТН) большой мощности для систем централизованного теплоснабжения

ТН позволяют перенести тепло от более холодного тела к более горячему посредством испарения и конденсации, использовать теплоту практически всех окружающих сред. Теплонасосные установки (ТНУ) давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3 – 5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу [2-4]. Кроме того, в ТН используются экологически чистые технологии практически без выбросов вредных веществ в окружающую среду [5,6].

ТН малой мощности (до 100 кВт) получили широкое распространение в высокотехнологичных странах мира. Они компактны, надежны, экологичны, работают при низких температурах наружного воздуха зимой, а также способны осуществлять кондиционирование помещений в теплый период года.

Но если бурно развивается рынок маломощных ТН, то необходимо оценить перспективы применения ТН большой мощности (до 30 МВт и более) для модернизации и развития систем теплоснабжения. Их преимущества по сравнению с ТН малой мощности заключаются в следующем:

- более низкие удельные капиталовложения (на 1 кВт тепловой мощности);
- меньшая занимаемая площадь по сравнению с большим количеством маломощных тепловых насосов;
- более высокие технико-экономические показатели отдельных элементов (например, изоэнтальпийный КПД компрессора) и ТН в целом.

В нашей стране наиболее крупные парокompрессионные ТН с винтовыми компрессорами производят в Новосибирске (ЗАО «Энергия») тепловой мощностью 500 – 3000 кВт (большая мощность достигается за счет объединения блоков по 500 кВт) [4], с центробежными

компрессорами – в Казани (НПО «Казанькомпрессормаш») тепловой мощностью до 8,5 – 11,5 МВт [7].

В мире наиболее крупные парокompрессионные ТН имеют тепловую мощность до 30 МВт с двухступенчатыми центробежными компрессорами [4,7-10]. Для теплоснабжения Стокгольма (Швеция) построена и работает станция ТН с 6-ю агрегатами общей мощностью 180 МВт. В качестве источника теплоты используется морская вода, в зимний период температура которой опускается до +2 - +4 °С [10,11]. В Хельсинки (Финляндия) и Осло (Норвегия) работают ТН на сточных водах [9,10,12]. В летний период они производят одновременно тепло для ГВС и холод для кондиционирования крупных торговых и бизнес-центров.

Реализация ТН большой мощности наиболее эффективна в крупных городах, где большие тепловые и холодильные нагрузки в течение длительного периода, где остро стоит проблема утилизации отходов, в том числе и тепловых, таких как сточные воды [5].

На первом этапе развития систем теплоснабжения на основе ТН необходимо выбрать наиболее перспективные направления:

- крупные мегаполисы, где остро стоят экологические проблемы (Москва, Санкт-Петербург) [5];
- города, где нет природного газа, где относительно дешевая электроэнергия и используются электрические котлы (Красноярск);
- южные города с круглогодичной потребностью в тепловой энергии (ГВС, отопление, вентиляция) и в холоде (в т.ч. для кондиционирования) (Краснодар, Сочи).

В традиционной системе теплоснабжения температура воды в подающем трубопроводе теплового ввода составляет 150 °С, во вторичной сети 95 °С, а в сети ГВС 60-70 °С [2]. Чем выше температура в подающем трубопроводе, тем большее количество тепловой энергии переносится к потребителям тепловой энергии меньшим количеством перекачиваемой воды на большие расстояния.

Но если при сжигании ископаемого топлива в водогрейных котлах с температурой 1000 - 1500 °С нагревается вода до 100 - 150 °С, то эксергия топлива снижается в 10 раз.

При отоплении жилых и общественных зданий необходимо поддерживать внутреннюю температуру на уровне 20 – 22 °С [2].

В ТН реализуется идея перекачки теплоты от низкотемпературного источника, в пределах соответствующем температурным параметрам окружающей среды. В этом случае разность

температур источника и потребителя тепловой энергии будет минимальной.

В последние годы, достигнут большой прогресс в получении новых строительных материалов с повышенными теплоизоляционными свойствами, разработаны технологии утепления существующих зданий. Во многих странах, пересматриваются нормы потерь теплоты от ограждений и оконных стекол в окружающую среду [5], соответственно, снижается требуемая температура теплового источника.

Однако наличие дешевого природного газа в условиях России делает ТН дорогими и малодоступными из-за относительно высоких капитальных вложений. Это приводит к большим срокам окупаемости. В ближайшей перспективе цены на газ будут расти, и могут выйти на уровень, близкий к мировым ценам, что повысит конкурентоспособность ТН [3].

Достоинство ТН заключается также в том, что они могут быть встроены и в существующие системы теплоснабжения. Крупные ТНУ могут «перекачивать» теплоту от источника с температурой 0 – +15 °С до 70 – 90 °С.

Одноступенчатые ТН хорошо работают при нагреве рабочей среды до 60 °С, что ограничивается степенью повышения давления в ступени компрессора не более 7-12 [2]. Для обеспечения более высоких температур нагрева используются двухступенчатые [9,12] или каскадные схемы ТНУ.

Проблемы разработки и применения ТН большой мощности

В условиях относительно низких цен на природный газ эффективным может стать проект создания ТН с газотурбинным приводом [7,8] и утилизацией тепла в котле-утилизаторе.

Сложность регулирования тепловых нагрузок в течение суток и сезона предъявляет повышенные требования к системам управления ТН. Современные ТН позволяют регулировать тепловую нагрузку в диапазоне 10 – 100% благодаря изменению положения регулирующих аппаратов перед ступенями компрессора.

В отопительный период ТН выгодно покрывать базовую часть тепловой нагрузки, а кратковременную пиковую нагрузку оставлять электрическому или водогрейному котлу на газе. Эффективность ТН возрастет, если в летний период он будет покрывать одновременно холодильную нагрузку и тепловую нагрузку для ГВС.

#### Список литературы:

1. Троицкий А.А. Энергетическая стратегия – важнейший фактор социально- экономического развития России // Теплоэнергетика 2001 №7 с. 2-9.
2. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергоиздат, 1981. - 320 с.
3. Фролов В.П., Щербаков С.Н., Фролов М.В., Шелгинский А.Я. Эффективность использования тепловых насосов в централизованных системах теплоснабжения // Новости теплоснабжения. - 2004. - N 7.
4. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004, сентябрь-октябрь №2. С. 47-80.
5. Васильев Г.П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы // Энергосбережение. - 2007. - N 8. - С.63-65.
6. Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Экологические аспекты применения парокомпрессионных тепловых насосов // Изв. РАН. Энергетика. - 2007. - N 4. - С.76-83.
7. Калнинь И.М., Савицкий И.К. Тепловые насосы: вчера, сегодня, завтра // Холодильная техника. - 2000. - N 10. - С. 2-6.
8. Проценко В.П. Проблемы использования теплонасосных установок в системах централизованного теплоснабжения // Энергетическое строительство. - 1994. - N 2. - С.29-34.
9. Bailer P., Pietrucha U. District heating and district cooling with large centrifugal chiller – heat pumps // Proc. 10<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling. 3-5 September 2006, Hanover, Germany. – 8 p.
10. Zogg M. History of Heat Pumps. Swiss Contributions and International Milestones. -Oberburg: Process and Energy Engineering CH-3414, Switzerland. 2008. – 114 p.
11. Gabrielli C., Vamling L. Drop-in replacement of R22 in heat pumps used for district heating – influence of equipment and property limitations // International Journal of Refrigeration. – 2001. - Vol. 24. - P. 660-675.
12. Unitop 50FY Type Heat Pump from Friotherm is Upgrading Untreated Sewage of 9.6°C to Heating Energy of 90°C in Oslo. Friotherm, 2003.  
[www.friotherm.com/downloads/skoyen\\_e11.pdf](http://www.friotherm.com/downloads/skoyen_e11.pdf)
13. Быков А.В., Калнинь И.М., Цирлин Б.Л. Перспективы создания крупных турбокомпрессорных машин для теплонасосных установок // Теплоэнергетика. - 1978. - N 4. - С. 25-28.

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ СВЧ-НАГРЕВА УГЛЯ

Сладков С.О.<sup>1</sup>,

Научные руководители: <sup>1</sup>Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., профессор, <sup>2</sup>Саломатов В.В., д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Институт теплофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 1

E-mail: [slaSO@yandex.ru](mailto:slaSO@yandex.ru)

Сверхдолгосрочный прогноз (до 2060 г.) Всемирного института угля (World Coal Institute, London, UK) [1] определенно указывает на существенное повышение роли угля в сравнении с природным газом и, особенно, нефтью, за пределами 2010-2015гг.

В Энергетической стратегии России до 2030 г. основные направления связаны с расширением, прежде всего, угольной энергетики и далее – атомной энергетики и гидроэнергетики [2].

Следует подчеркнуть, что успешное развитие угольных технологий неразрывно связано с применением новых методов воздействия на термopодготовку угля.

Одним из таких методов является воздействие СВЧ-энергии на уголь.

Процесс СВЧ-нагрева угля обладает рядом преимуществ: равномерность и безинерционность нагрева, безконтактность, высокий КПД. Тепловые потери в подводящих трактах обычно невелики, и стенки волноводов и рабочих камер остаются практически холодными, что создает комфортные условия для обслуживающего персонала.

Теория СВЧ-воздействия на различные материалы описывается с помощью электродинамики Максвелла и теории тепло-и массопереноса.

При рассмотрении нестационарных нелинейных задач теплообмена, аналитические решения, полученные путем непосредственного интегрирования дифференциальных уравнений получить очень сложно. Поэтому необходимо применять численные методы.

Целью работы является численное моделирование температурного поля частицы угля в условиях СВЧ-нагрева

Постановка задачи СВЧ-нагрева пластины угля: Вычисляется температурное поле в заданный момент времени, в пластине угля толщиной  $L = 0,1$  м при воздействии СВЧ-излучения.

Допущения:

а) геометрическая форма частицы угля – пластина;

б) угольная частица однородна;

в) теплофизические свойства угля (теплопроводность, теплоемкость, плотность) – постоянны;

г) внутреннее тепловыделение от СВЧ-излучения постоянно во времени;

д) процесс нестационарный и одномерный;

Геометрическая постановка задачи:

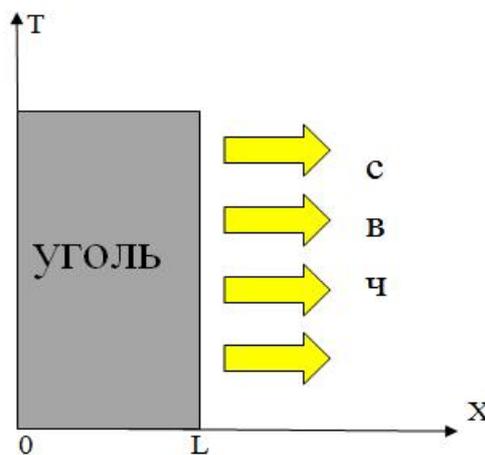


Рис 1. Геометрия задачи

Математическая постановка задачи:

Уравнение теплопроводности:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + q_v \quad (1)$$

Начальные условия при  $t=0$ :

$$T(x,t) = T_0 \quad (2)$$

Граничные условия при  $x=0, x=L$  и  $t>0$ :

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = \alpha \cdot (T_c - T(x,t)) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T^4(x,t)) \quad (3)$$

$$\lambda \cdot \frac{\partial T(L,t)}{\partial x} = \alpha \cdot (T_c - T(x,t)) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T^4(x,t)) \quad (4)$$

Исходные данные:

толщина пластины угля:  $L = 0,1$  м; теплофизические характеристики угля с влажностью 12% рассчитывались с использованием формул Г.Н.Делягина [3] и формул для определения плотности, теплопроводности, теплоемкости по схеме водоугольной композиции [4]:

$$\lambda = 0,369 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}; \rho = 1358 \text{ кг/м}^3;$$

$$c = 1340 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}; \text{ степень черноты угля [5]:}$$

$$\varepsilon = 0,8; \text{ постоянная Стефана-Больцмана:}$$

$$\sigma = 5,699 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4; \text{ коэффициент теплообмена для условий свободной конвекции на поверхности нагрева:}$$

$$\alpha = 5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}; \text{ диэлектрическая постоянная угля [6]:}$$

$$\chi = 4; \text{ тангенс диэлектрических потерь [6]:}$$

$$tg \delta = 0,05; \text{ напряженность СВЧ-поля:}$$

$$E = 200 \text{ В/см}; \text{ частота СВЧ-поля:}$$

$$f = 2,45 \cdot 10^9 \text{ Гц}; \text{ внутренне тепловыделение определялось по форму-}$$

ле[7]:

$$q_v = 0,555 \cdot \chi \cdot \text{tg} \delta \cdot f \cdot E^2 \cdot 10^{-6} = 1,08 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^3;$$

начальная температура:  $T_0 = 283^{\circ} \text{K}$ ; температура окружающей среды:  $T_c = 293^{\circ} \text{K}$ .

Одномерное нестационарное уравнение (1) совместно с начальными (2) и граничными (3-4) условиями решено численно - методом конечных

разностей с применением неявной четырехточечной локальной одномерной схемы А.А. Самарского [8].

Результаты в виде распределений температуры по толщине пластины угля для различных моментов времени приведены на рис.2.

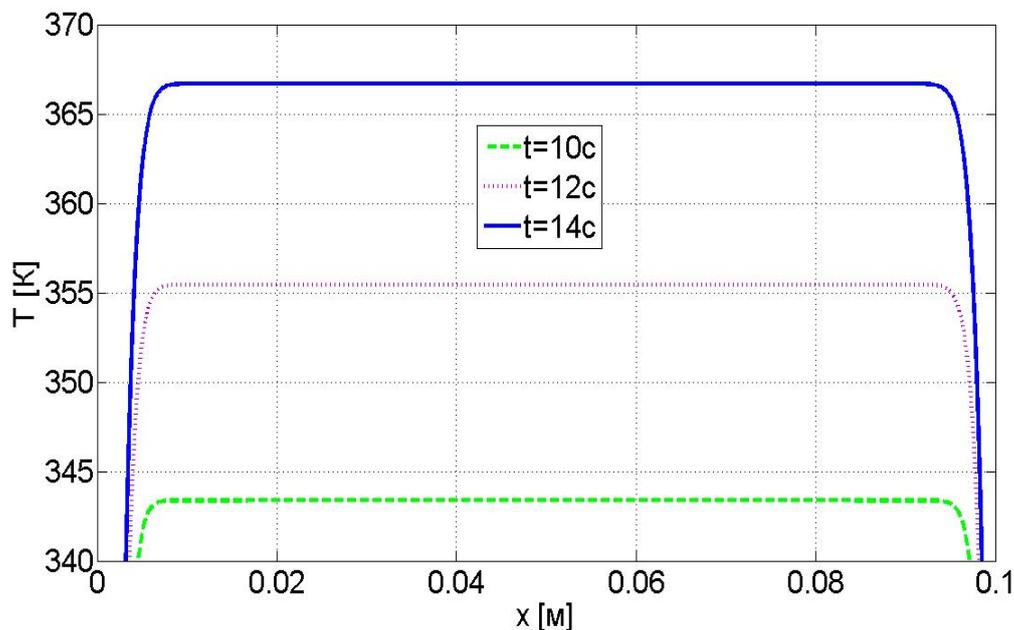


Рис.2. Поле температур в различные моменты времени

Выводы:

1. Время СВЧ-нагрева пластины угля толщиной  $L = 0,1 \text{ м}$  до температуры  $T \approx 368^{\circ} \text{K}$  ( $95^{\circ} \text{C}$ ) составляет не более  $t \approx 14 \text{ с}$ .
2. Основной вклад в температурное поле вносит внутренний источник тепловыделения  $q_v$ .

Литература:

1. Воробьев Б.М. Уголь мира. М.: «Горная книга», 2007, Т1: Глобальный аспект. – 309с.
2. Шейндлин А.Е. Проблемы новой энергетики. – М: Наука, 2006. – 406 с.
3. Делягин Г.А. Вопросы теории горения водоугольной суспензии в потоке воздуха // Сб. Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий. – М.: изд-во АН СССР, 1967. С. 45-55.
4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
5. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. Москва: «Госэнергоиздат», 1958. – 418с.
6. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика: теория и практика. – М.: Наука. – 2003. – 446 с.
7. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472с.
8. Самарский А.А. Теория разностных схем. Москва: «Наука», 1989. – 616с.

## ЭКОНОМИЯ ТЕПЛА НА ТЭЦ С ОДНОЦИЛИНДРОВЫМИ ТУРБИНАМИ РАЗЛИЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Смоляров А.С.

Научный руководитель: Ромашова О.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, Россия  
E-mail: [dieseloknv@gmail.com](mailto:dieseloknv@gmail.com)

Энергетика является одной из ведущих и наиболее высокоорганизованных отраслей народного хозяйства. Технологический процесс производства и распределения электрической и тепловой нагрузки достиг относительно высокой степени совершенства. В процессе развития энергетики непрерывно повышается экономичность энергетических предприятий, что выражает в снижении затрат на производство и передачу тепловой и электрической энергии.

В данной статье предлагается способ повышения экономичности ТЭЦ путем проектирования ТЭЦ с одноцилиндровыми турбинами различного давления за место целостных турбин. Данная конструкция позволяет корректировать работу цилиндров различного давления, в зависимости от режима работы станции, путем отключения их, что позволяет нам достигать максимальной эффективности ТЭЦ.

Постановка задачи:

Проведен анализ 2х тепловых схем ТЭЦ. Первая тепловая схема ТЭЦ содержит одну турбину, состоящую из цилиндров различного давления (на примере турбины ПТ-135-130). Был рассмотрен режим работы по тепловому графику с минимальным расходом в конденсатор для охлаждения, в этом режиме внутренняя мощность равна 0. Вентиляционный пропуск в конденсатор равен 5% от расхода пара на турбину (рис. 1).

Вторая тепловая схема ТЭЦ содержит три одноцилиндровые турбины различного давления (высокого, среднего и низкого давления). Тепловая схема ТЭЦ содержит коллектора, в которые попадает пар, а после с коллекторов попадать в турбины (рис. 2). Принимая потери на дросселирование при поступлении пара с коллектора к цилиндру давления турбины равными 5%, 7% и 10%, рассчитаем параметры 2х тепловых схем на разные режимы работы, а именно на теплофикационный и конденсационный режим работы.

В сравнительном анализе будем принимать следующие допущения:

- Потери от выходных камер цилиндров до коллекторов не будем учитывать, считая их одинаковыми в сравниваемых вариантах;
- Потерями давления в перепускных трубопроводах будем пренебрегать;

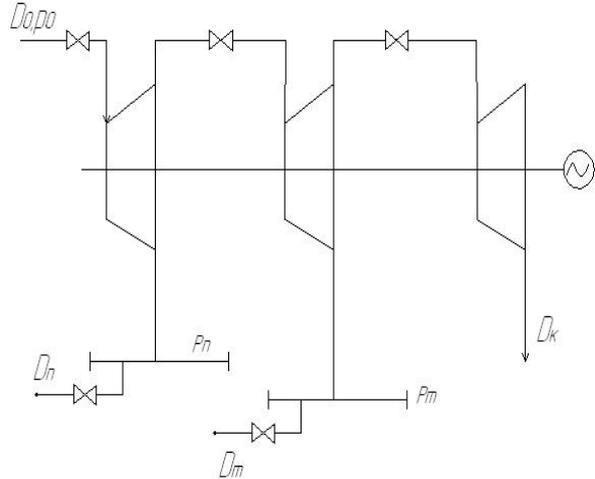


Рис. 1. Схематичное представление турбины ПТ-135-130

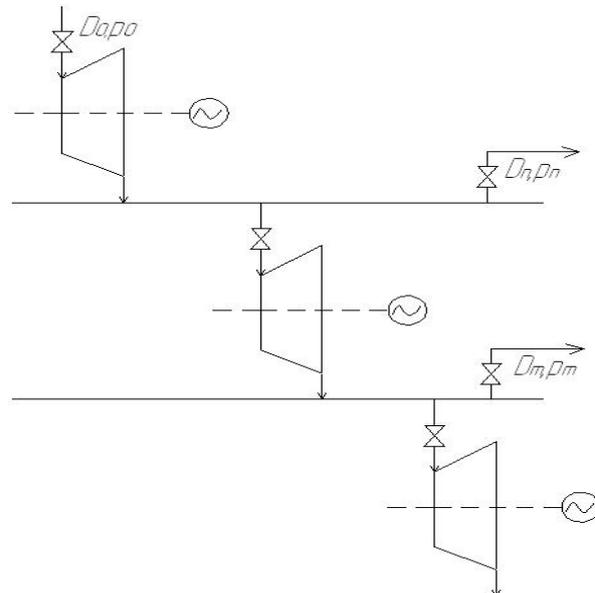


Рис. 2. Схематичное представление 3х турбин различного давления

Исходные данные:

$P_0 = 13 \text{ МПа}$ ;  $t_0 = 540^\circ \text{C}$ ;  $P_T = 0,12 \text{ МПа}$ ;

$P_n = 1,5 \text{ МПа}$ ;  $P_k = 0,004 \text{ МПа}$ ;

$D_k = 0,05D_0$ ;  $Q_n = 200,36 \text{ МВт}$ ;  $Q_T = 120,04 \text{ МВт}$ .

Изменение потерь не является объективным критерием для сравнения 2х тепловых схем, так как при применении тепловых схем изменяется экономичность работы турбоустановки в зимнем и летнем режимах.

Сравним 2е тепловые схемы в годовом разрезе в зависимости от годового числа часов использования установленной мощности:

Принимаем годовое число часов использования  $\tau_y = 6000$  ч.

Для сравнения выбираем критерий -  $\square Q_0^{zod}$  - экономия (перерасход) годового количества тепла в свежем паре, которая определяется как

$\square Q_0^m + Q_0^k = \square Q_0^{zod}$ , где  $\square Q_0^m$  - экономия (перерасход) количества тепла в теплофикационном режиме работы турбины;  $Q_0^k$  - экономия (перерасход) количества тепла в конденсационном режиме работы турбины;

$$\square Q_0^k = \delta q_k \cdot \mathcal{E}_k,$$

$\square Q_0^m = \delta q_m \cdot \mathcal{E}_m$ , где  $\mathcal{E}_k, \mathcal{E}_m$  - годовая выработка электроэнергии в конденсационном и теплофикационном режимах работы турбины;  $\delta q_k, \delta q_m$  -

экономия (перерасход) удельного расхода теплоты по выработке электроэнергии турбоустановкой;

$$\mathcal{E}_m = N_m^0 \cdot \tau_{\max},$$

$\mathcal{E}_k = N_k^0 \cdot \tau_{\text{конц}}$ , где  $N_m^0, N_k^0$  - действительная мощность турбины в теплофикационном и конденсационном режимах работы в исходном варианте (без потерь на дросселирование);  $\tau_{\max}$  - число часов использования максимальной тепловой мощности турбины в теплофикационном режиме работы;  $\tau_{\text{конц}}$  - число часов работы турбины в конденсационном режиме работы;

$\tau_{\text{конц}} = \tau_y - \tau_{\max}$  - формула, связывающая  $\tau_{\text{конц}}$  и

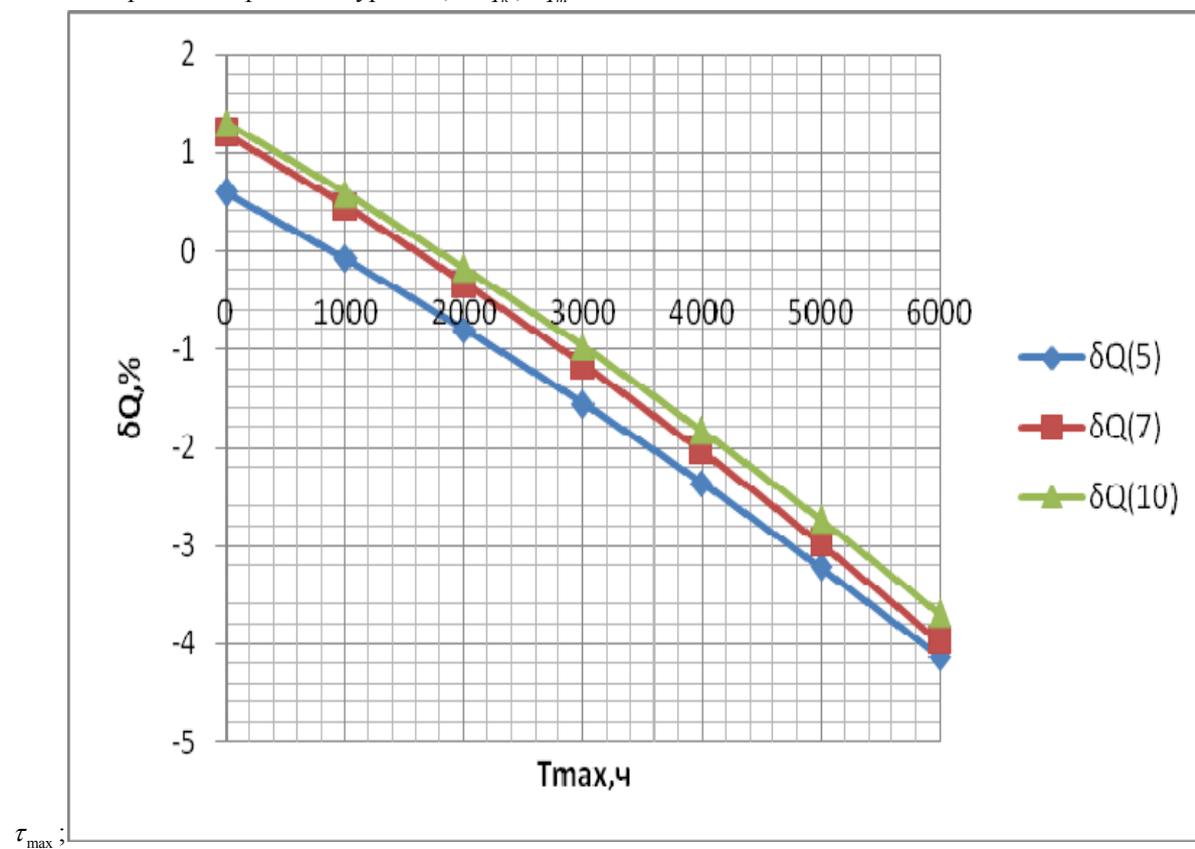


Рис 3. График зависимости относительной экономии (перерасхода) тепла от числа часов использования максимальной тепловой мощности турбины

Графически получили, что переход к схеме с поперечными связями между цилиндрами дает экономию тепла (топлива) при числе часов использования максимальной тепловой мощности более 1000 часов (при 5% потерь на дросселирование) и 1900 часов (при 10% потерь на

дросселирование). Увеличение потерь от дросселирования до 10% экономически оправдано при использовании турбины в режиме с максимальной тепловой мощностью более 1900 часов.

## ПРИНЦИПЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СМАЗОЧНЫХ СИСТЕМАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Степанов В. В., Пак Н.К., Абрамчук И.П.

Научный руководитель: Кича Г.П., д.т.н., профессор  
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
690059, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а  
E-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

Разработка комбинированной системы тонкой очистки масла (КСТОМ), использующей достоинства и преимущества его очистки фильтрованием и центрифугированием, осуществлена на основе следующих принципов:

- разграничения функций агрегатов очистки таким образом, чтобы наиболее полно реализовывались преимущества полнопоточного фильтрования для защиты пар трения двигателя от крупных абразивных частиц и центрифугирования для глубокой очистки моторного масла (ММ) от тонкодиспергированных, особенно зольных, нерастворимых примесей;
- последовательно-параллельного включения агрегатов очистки в систему смазки (СС) дизелей и оптимизации их параметров для полного использования возможностей каждого из очистителей, что достигается уменьшением массы полнопоточно фильтруемого холодного масла, увеличением доли центрифугируемого ММ;
- поддержания высокой интенсивности очистки масла центрифугированием на всех скоростных режимах работы дизеля путем автономной подачи его на очистку и раскрутку ротора, установки напорного и переливного клапанов.

Совершенствование фильтра тонкой очистки масла, полнопоточного (ФТОМП) состояло в разработке фильтрующих элементов (ФЭ), обеспечивающих надежную защиту трибосопряжений ДВС от абразивного изнашивания и высокую продолжительность их работы без обслуживания. Для полнопоточных маслоочистителей (МО) важно достичь длительного функционирования без открытия перепускного клапана, в том числе и на пусковых режимах с холодным маслом. Для реализации этой цели потребовалось улучшить гидравлические характеристики ФЭ и их грязеемкость, что достигнуто с помощью конструктивных мероприятий и формированием поровой структуры фильтровальных материалов исходя из рекомендаций, обоснованных расчетом по моделям. На центробежный очиститель (ЦО) возлагалась задача глубокой очистки ММ от продуктов, интенсифицирующих старение масла и срабатывание присадок. Для этой цели необходимо повышение эффективности очистки масла от мелкодисперсных нерастворимых примесей (НРИ). При этом желательно такое подключение их в СС, чтобы максимально облегчить работу ФТОМП, снижая "грязевую" нагрузку на них. Мероприятия по повышению эффективности ЦО состоят в увеличении фактора разделения, что достигается улучшением их конструкции и схемы подключения.

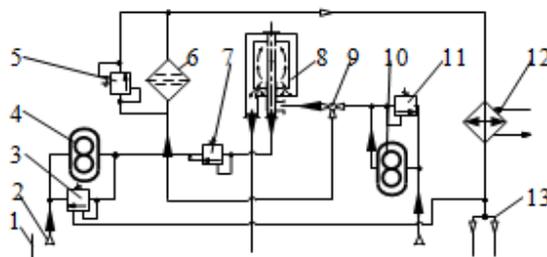


Рис. 1. Перспективная КСТОМ для судовых тронковых дизелей: 1 – картер; 2 – заборник; 3 – редукционный управляемый клапан; 4 – насос; 5 – предохранительный клапан; 6 – фильтр; 7 – напорный золотник с обратным клапаном; 8 – центрифуга с напорным сливом; 9 – трехходовой кран; 10 – вспомогательный насос; 11 – перепускной клапан; 12 – холодильник; 13 – распределительная магистраль

Схема включения МО в СС дизеля с мокрым картером, в которой реализованы изложенные ранее принципы очистки масла, имеет следующую особенность (рис. 1). В ней главный и вспомогательный контуры очистки гидравлически связаны через напорный золотник 7 с обратным клапаном. В пары трения двигателя (маслораспределитель 13) масло подается основным масляным насосом 4 через полнопоточный фильтр 6, где оно очищается с тонкостью отсева 25–40 мкм. Дроссельный распределитель 3 за счет управляемого воздействия автоматически поддерживает постоянное давление масла перед потребителями при любой температуре масла в СС без перепуска его мимо ФЭ через предохранительный клапан 5 фильтра.

Вспомогательным насосом 10 масло через центрифугу 8 с напорным сливом и золотник 7 подается в главный контур циркуляции. Напорный золотник отрегулирован так, чтобы поддерживать давление перед центрифугой 0,7–0,8 МПа, при котором эффективность ЦО наибольшая. При таком давлении перед соплами ротора фактор разделения центрифуги превышает 2000. Когда подача масла агрегатом 10 выше пропускной способности центрифуги, излишки его поступают на всасывание насоса через перепускной клапан 11. Для чистки ротора на работающем двигателе ЦО отключается от основного контура СС трехходовым краном 9. При этом из-за наличия обратного клапана в золотнике 7 масло в центрифугу 8 от насоса 4 не поступает.

Подача на фильтр предварительно центрифугируемого масла увеличивает продолжительность работы ФЭ без закупорки пор. Перераспределение "грязевой" нагрузки между центрифугой и фильтром с уменьшением доли загрязнений, удаляемых последним, способствует росту срока службы ФЭ. Функции агрегатов очистки в КСТОМ разграничены так, что для защиты пар трения двигателя от наиболее опасных крупных частиц загряз-

нений используются преимущества полнопоточного фильтрования, а для глубокой очистки от катализаторов окисления (тонкодисперсных абразивных, особенно зольных, нерастворимых примесей) – достоинства центрифугирования.

Доля центрифугируемого масла зависит от массогабаритных размеров ЦО, прокачки масла через дизель и подачи вспомогательного насоса. Увеличение ее благоприятно сказывается на сроке службы ФЭ. Обычно в судовых ДВС отношение центрифугируемого масла к фильтруемому устанавливается в пределах 0,2–0,8. Чем интенсивнее поступление в масло НРП и больше в них крупных частиц, тем выше должна быть доля центрифугированного масла.

Перепускной клапан, установленный на центрифуге (на схеме он не показан), позволяет установить оптимальную подачу масла в центрифугу, при которой скорость удаления из масла нерастворимых загрязнений будет максимальной [3]. При последовательной схеме подключения ЦО и фильтра имеется режим центрифугирования, создающий самые благоприятные условия для функционирования фильтра (см. рис. 1).

Химмотологию КСТОМ оценивали на моторных стендах и в эксплуатации на судах Дальневосточного бассейна. Испытания вели по ОСТ 24.060.09–89 на дизелях с высоким наддувом ДД112 (6ЧСПН18/22). Исследовали влияние на старение масла и состояние дизеля КСТОМ, включающей полнопоточный фильтр тонкой очистки масла и центрифугу МЦН-5НС с напорным сливом. В качестве базы сравнения использовали результаты моторных испытаний в этом же дизеле масла М-10Г<sub>2</sub>(ц) при его очистке ФТОМП.

Преимущество комбинированной очистки ММ над полнопоточным фильтрованием выразилось в более низкой концентрации нерастворимых продуктов (табл. 1). Так, в дизеле 6ЧН18/22 после тысячи часов работы с комбинированным маслоочистительным комплексом (КМОК) в ММ содержалось не более 1,3 % общих и 0,22 % зольных нерастворимых примесей. При очистке масла ФТОМП за рассматриваемый период работы эти показатели соответственно выше – 1,3 и 0,4 %.

В условиях применения высокозольного масла М-10-Г<sub>2</sub>(ц) превосходство КМОК над ФТОМП проявилось по всем показателям (см. табл. 1). Комбинированная очистка по интенсивности удаления НРП эффективнее полнопоточного фильтрования в 6–15 раз, что приводит к более низкому (на 40–50 %) накоплению в масле нерастворимых примесей. Эффективное удаление центрифугой зольных продуктов тормозит старение масла и улучшает его антиизносные свойства. Это хорошо иллюстрирует сравнение МО по влиянию на скорость изнашивания основных деталей ДВС. Использование КМОК в СС дизеля 6ЧН18/22 способствовало снижению износа поршневых колец, цилиндрической втулки в 1,67–1,85 раза. По шейкам

коленчатого вала и подшипникам результат еще разительнее: изнашивание снизилось на 46–53 %.

Таблица 1. Эксплуатационная эффективность очистителей в системе смазки дизеля 6ЧН18/22

Показатель	М-10-Г <sub>2</sub> (ц), ФМП-2	М-10-Г <sub>2</sub> (ц), ФМП-2+МЦН-5НС
Максимальная концентрация НРП в масле, отработавшем 1000 ч, %:		
общих	1,5 ± 0,3	1,0 ± 0,2
зольных	0,32 ± 0,06	0,18 ± 0,03
Щелочность к этому же моменту времени, мг КОН/г	3,1 ± 0,5	5,2 ± 0,7
Интенсивность очистки масла от НРП, г/ч:		
общих	32 ± 10	250 ± 20
зольных	25 ± 3	330 ± 30
Скорость изнашивания поршневых колец, г/1000 ч	4,3 ± 0,4	2,6 ± 0,2
Скорость изнашивания цилиндрических втулок, мкм/1000 ч	16,4 ± 1,2	7,3 ± 0,8
Скорость изнашивания вкладышей шатунного подшипника, мг/1000 ч	163 ± 14	78 ± 3
Скорость изнашивания шатунных шеек коленчатого вала, мкм/1000 ч	8,9 ± 1,1	4,3 ± 0,8
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл:		
подвижность поршневых колец	1,1 ± 0,3	0
общая оценка	8,4 ± 0,9	5,8 ± 0,6

Высокий результат при установке КМОК достигнут и в снижении нагаро- и лакообразования. Если при очистке масла М-10-Г<sub>2</sub>(ц) ФТОМП общее состояние поршней дизеля оценивалось в 8,4 балла, то комбинация очистителей ФМП-2 и МЦН-5НС дает результат 5,8 балла. При комбинированной очистке все поршневые кольца были подвижны. Если же глубокая очистка ММ не проводилась, то отдельные кольца из-за наличия нагара перемещались в канавках туго, что объясняется жесткими режимами испытаний дизеля. Оценка интенсивности старения масла М-10-Г<sub>2</sub>(ц) при комбинированной очистке его показала возможность удлинения срока службы этого ММ до 3 тыс.ч.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

Сунгатуллина В.И.

Научный руководитель: Логинов В.С. д.т.н. профессор  
Томский политехнический университет 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30  
E-mail: [Venera\\_sambo@mail.ru](mailto:Venera_sambo@mail.ru)

### АННОТАЦИЯ.

В докладе рассмотрена проблема создания высокоэффективной теплоизоляции на основе теплоизолирующего материала, пенополиуретана. В отличие от известной работы уточняется способ изменения плотности изолирующего материала в поперечной плоскости, уточнены аналитические решения с получением расчетных зависимостей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** теплоизоляция, пенополиуретан, трубопровод, плотность, слой.

Ежегодно на тепловых сетях в России теряется свыше 50 млн. Гкал тепла. Решение проблемы энергосбережения заключается в переходе на теплоизоляцию с низкими коэффициентами теплопроводности, например, из пенополиуретана. Для трубопроводов, изготовленных из пенополиуретана, актуальной задачей является выполнение требований по гидростатической прочности с сохранением теплогидроизоляционных свойств. Внутри теплогидроизоляции недопустимо наличие влаги, так как это неминуемо ведет к образованию коррозии. Наиболее перспективным направлением является создание такой теплоизоляции, которая кроме перечисленных свойств обладала бы еще и механической прочностью, с тем, чтобы ликвидировать тепловые мосты в области опорных подставок [2], и чтобы изоляция была бы достаточно дешевой.

В данной работе изложен метод расчета теплофизических свойств пеноматериалов с произвольным изменением коэффициента теплопроводности от плотности материала  $\rho = \rho(r)$  в поперечном сечении трубопровода. Она может изменяться в широких пределах: от 50 до 400 кг/м<sup>3</sup> (рис. 1).

В зависимости от  $\rho$  меняется  $\lambda$ , а следовательно, и тепловое сопротивление единицы длины цилиндрического слоя теплоизоляции [1]

$$R_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{r_0}^R \frac{dr}{r \cdot \lambda(r)}, \quad (1)$$

где  $r_0$  – внешний радиус трубопровода,  $R$  – внешний радиус трубопровода с теплоизоляцией.

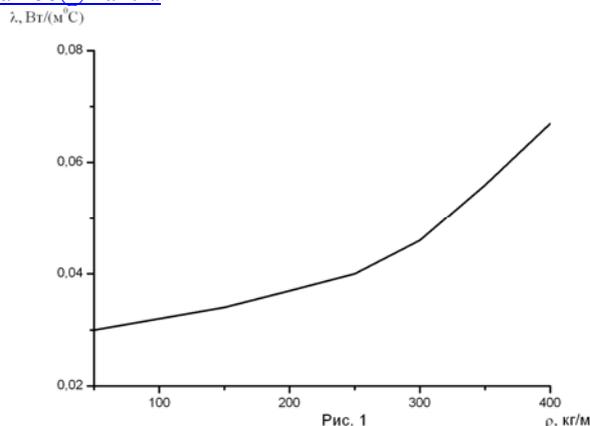


Рис. 1

Удельная масса пенополиуретана, приходящаяся на единицу длины трубопровода, также зависит от  $\rho(r)$ :

$$m_1 = 2\pi \int_{r_0}^R \rho(r) r dr. \quad (2)$$

Постановка задачи заключается в оптимизации массы теплоизоляции на один погонный метр трубопровода (2). Необходимо найти такой закон распределения плотности теплоизоляции, при котором удельное тепловое сопротивление (1) имеет максимальное значение, а суммарная удельная масса теплоизоляции (2) минимальна.

Решение задачи состоит в нахождении экстремума функционала [1]

$$F = \int_{r_0}^R \frac{dr}{r \lambda(r)} + \mu \int_{r_0}^R \rho r dr, \quad (3)$$

где  $\mu$  – необходимый множитель Лагранжа. Условием экстремума является равенство нулю первой вариации  $\delta F = 0$ . Вычисляя ее, находим

$$\int_{r_0}^R \left\{ \frac{1}{r} \frac{d}{d\rho} \left( \frac{1}{\lambda} \right) + \mu r \right\} \delta \rho dr = 0. \quad (4)$$

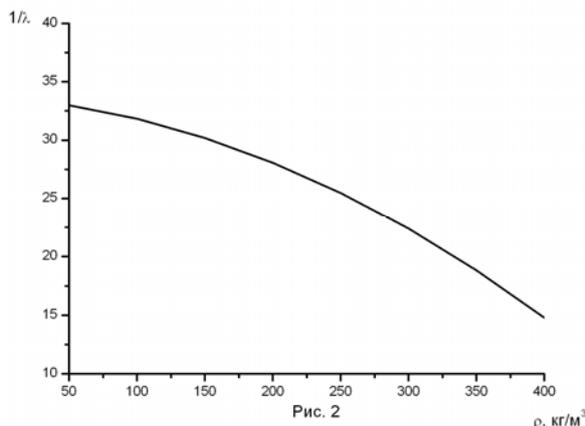
В силу произвольной вариации  $\delta \rho$  из (4) следует, что

$$\frac{d}{d\rho} \left( \frac{1}{\lambda(\rho)} \right) = -\mu r^2. \quad (5)$$

Неизвестная постоянная  $\mu$  выражается через удельную массу теплоизоляции  $m_1$  через формулу (2). Удобно представить  $1/\lambda$ , как функцию от

плотности  $\rho$  теплоизоляции. На рис.2 изображена сплошная кривая – расчет по формуле [1]:

$$\frac{1}{\lambda} = 33 - 0,000096 \cdot (\rho - 50)^2 - 0,01841 \cdot (\rho - 50) \quad (6)$$



Подставляя формулу (6) в формулу (5), и проводя элементарные вычисления, найдем искомую зависимость плотности теплоизоляции от расстояния, при которой удельное тепловое сопротивление максимально:

$$\rho = \frac{2r^2}{R^2 + r_0^2} (\bar{\rho} - \rho_m) + \rho_m, \quad (7)$$

где  $\bar{\rho} = \frac{1}{\pi} \frac{m_1}{R^2 - r_0^2}$  - средняя плотность теплоизоляции, а  $\rho_m$  находится из условия, что  $\left. \frac{d}{d\rho} \left( \frac{1}{\lambda} \right) \right|_{\rho=\rho_m} = 0$ .

Величина теплового сопротивления единицы длины теплоизоляции определяется по известной зависимости [3]

Минимальное значение плотности  $\rho_{\min}$  при  $\Gamma=\Gamma_0$  должно удовлетворять неравенству  $\rho_{\min} \geq 50$  кг/м<sup>3</sup>, а максимальное значение плотности  $\rho_{\max}$  соответствует неравенству:  $\rho_{\max} \leq 400$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 1). Соотношение между максимальным и минимальными значениями плотности вытекает из формулы (7)

$$\rho_{\max} = \left( 1 + \frac{2\delta}{d} \right)^2 \rho_{\min} - \frac{4\delta}{d} \left( 1 + \frac{\delta}{d} \right) \rho_m, \quad (8)$$

1. .

$$\bar{\rho} = \frac{1}{2} (\rho_{\max} + \rho_{\min}), \quad (9)$$

где  $d=2r_0$  – диаметр трубопровода,  $\delta$  - толщина слоя теплоизоляции.

В качестве примера сравним два трубопровода: магистральный от ТЭЦ с  $d=500$  мм, и распределительный  $d=100$  мм.

Расчеты по формулам (8)-(10) для трубопровода с  $d=100$  мм и  $\delta=20$  мм дают:  $\rho_{\max}=166,054$  кг/м<sup>3</sup>;  $\bar{\rho}=7,879 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup>;  $m_1=25$  кг/м;  $R_1=1,166$  м\*с/Вт. Соответственно, для магистрального трубопровода с  $d=500$  мм и  $\delta=120$  мм:  $\rho_{\max}=193,907$  кг/м<sup>3</sup>;  $\bar{\rho}=236,838$  кг/м<sup>3</sup>;  $m_1=25$  кг/м;  $R_1=1,263$  м\*с/Вт. Минимальное значение плотности пенополиуретана принималось  $\rho_{\min}=50$  кг/м<sup>3</sup>. Из формулы (6) находим  $\rho_m=-70,89$  кг/м<sup>3</sup>. Отрицательное значение  $\rho_m$  просто означает, что максимум параболической зависимости (6) лежит в области не физических значений плотности и не достигим для данного материала. Видно, что при близких значениях теплового сопротивления масса наносимой теплоизоляции для распределительного трубопровода осталась неизменной, но толщина изменилась в 5 раз.

#### Вывод.

В аналитическом виде получены расчетные зависимости для теплового сопротивления и массы наносимого полимерного материала. Это позволяет на стадии проектирования теплопровода оптимизировать тепловые потери.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Энергосбережение и водоподготовка. 2009г., №3, стр.37-39.
2. Многослойная теплогидроизоляция в виде монолитной структуры //Э.П. Волков. А.с. №1756729.
3. Соколов Е.Я. теплофикация и тепловые сети. М.:МЭИ, 2001

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

Ударцев Е.И., Максимов В.И.

Научный руководитель: Максимов В.И., к.т.н., доцент  
 Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
 E-mail: [carbon12@sibmail.com](mailto:carbon12@sibmail.com)

В связи с развитием новой техники все большее значение приобретают вопросы тепло- и массообмена. Повышенный интерес к естественной конвекции отражает растущее внимание к проблемам энергетики и охраны окружающей среды. Изучение процессов естественной конвекции имеет большое значение в связи с проблемой отвода тепла во многих электронных приборах, процессах, энергетических установках и системах. Этот механизм может определять безопасность эксплуатации объектов и их элементов в условиях, когда обычные способы отвода тепла невозможны или не приводят к нужному результату. Большой класс задач естественно-конвективного теплообмена в плоских слоях (наклонных, незамкнутых) и их устойчивость рассмотрены в работах [1–3]. Однако практический интерес вызывают случаи тел с ограниченным объемом, например, прямоугольная полость, на границах которой задаются граничные условия для температуры не только первого, но и второго рода, а в исследуемом объеме воздуха распределены источники тепла. В этой связи в настоящей работе проведено математическое моделирование естественно-конвективного теплообмена воздуха в замкнутой прямоугольной полости. Моделирование выполнено с использованием пакета моделирования COMSOL Multiphysics, который решает системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов в одном, двух и трех измерениях.

В объеме воздуха 1, находящегося в полости, распределен внутренний источник теплоты 2. На боковых стенках полости 3 для температуры заданы граничные условия второго рода по закону Фурье. В результате проведенных численных экспериментов получены поля скорости и температуры.

### Математическая постановка задачи.

Однофазный поток жидкости (газа) на границе раздела описывается системой уравнений Навье-Стокса, которые в общей форме могут быть записаны в следующем виде:

Уравнение неразрывности (закон сохранения масс):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0; \quad (1)$$

Уравнение сохранения импульса (векторное уравнение):

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \boldsymbol{\tau}] + \mathbf{F}; \quad (2)$$

Уравнение сохранения энергии:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T), \quad (3)$$

Когда изменения температуры в потоке жидкости (газа) малы, однофазная жидкость (газ) может рассматриваться как несжимаемая, т.е.  $\rho$  - постоянная. Это условие справедливо для всех жидкостей при нормальных условиях, а также для газов при низких скоростях. Тогда для постоянной плотности уравнение 1 можно записать в следующем виде:

$$\rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0; \quad (4)$$

и уравнение 2:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F}; \quad (5)$$

### Начальные условия:

$T = 293,15 \text{ K}$  – температура воздуха внутри контура;

$T_0 = 309,15 \text{ K}$  – температура источника тепловыделения.

### Граничные условия имели следующий вид:

Тепловая изоляция: при  $Y=0$  и  $Y=H$

$$-\mathbf{n} \cdot (k \nabla T) = 0;$$

Сток тепла (теплопроводные стенки конечной длины): при  $X=0$  и  $X=L$

$$-\mathbf{n} \cdot (-k \nabla T) = -q_0;$$

На рис.1 представлена физическая постановка задачи.

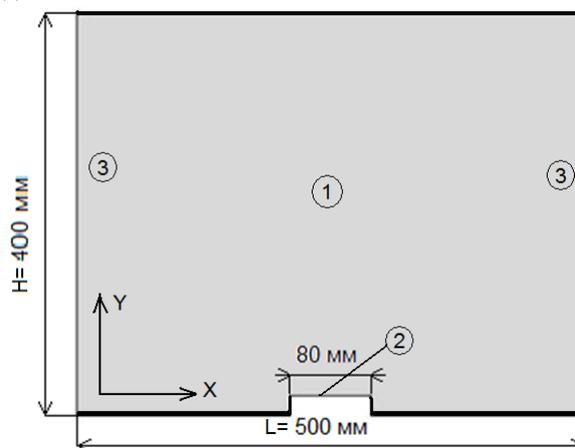


Рис.1. Физическая постановка задачи

Для решения системы дифференциальных уравнений использовался метод конечных элементов. Область, в которой искалось решение дифференциальных уравнений, разбивалась на конечное

количество подобластей (элементов) (рис.2), в каждом из которых произвольно выбирался вид аппроксимирующей функции. В качестве конечных элементов используются свободные треугольники размеры и расположения которых, определялись автоматически программой.

Максимальный размер элемента  $0,0335$  м;

Минимальный размер элемента  $1,54 \cdot 10^{-4}$  м.

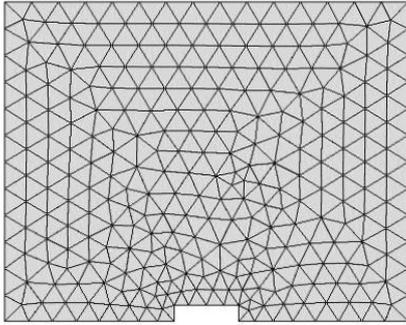


Рис.2. Исходный контур, разбитый на конечные элементы

В результате численного решения задачи были получены поля скорости и температуры.

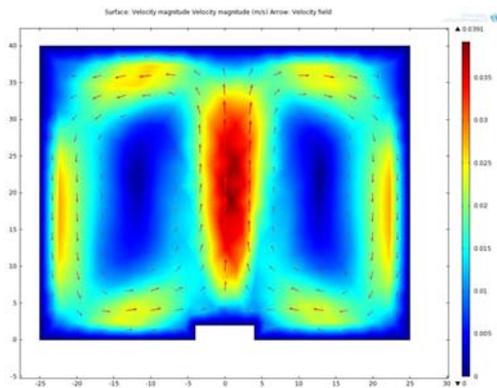


Рис.3 Поле скорости, м/с

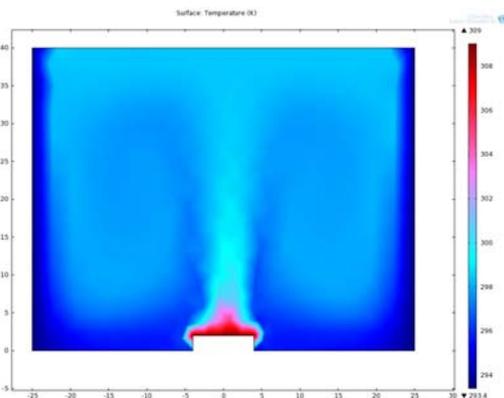


Рис.4 Поле температуры, К

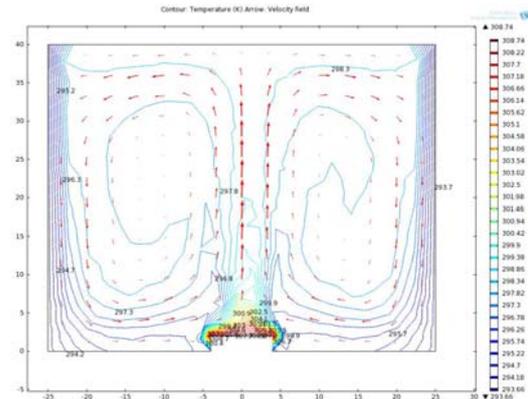


Рис.5 Изотермы, К

Полученные результаты сравнивались с результатами экспериментальных данных. Сравнение показало хорошее качественное согласование. Погрешность для отдельных участков не привнесла 10%.

В результате проведенных исследований был создан программный комплекс, позволяющий моделировать свободно-конвективный теплообмен в замкнутой прямоугольной полости.

#### Список литературы

1. *Герциуни Г. З., Жуховицкий Е. М.* Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., 1972.
2. *Джалурия Й.* Естественная конвекция. Тепло и массообмен / под ред. В. И. Полежаева. М., 1983.
3. *Исаев С. И.* Теория тепломассообмена / под ред. А. И. Леонтьева. М., 1979.
4. *Патанкар С. В.* Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в канале / пер. с англ. Е. В. Калабина; под ред. Г. Г. Янькова. М., 2003.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ВО ВЛАГОУСТОЙЧИВОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Хабибулин А.М.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [habik89@sibmail.com](mailto:habik89@sibmail.com)

### Введение

Современное развитие промышленного производства характеризуется все более широким использованием низких температур. Это требует существенного улучшения теплоизоляции низкотемпературного оборудования [1].

Атмосферная низкотемпературная изоляция с одной стороны граничит с наружным воздухом, с другой имеет «идеальную гидроизоляцию» в виде металлического корпуса аппарата. Таким образом, водяной пар, проникающий в изоляцию за счет градиента давления, обусловленного разностью температур, конденсируется и накапливается в ней практически в течение всего срока эксплуатации. Увлажнение изоляции может быть предотвращено только при условии применения абсолютной пароизоляции на наружной поверхности теплоизоляции, что практически осуществить невозможно [1]. Целью данной работы является численное моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения криожидкостей с учетом промерзания тепловой изоляции и наличия миграции влаги к фронту фазового перехода.

### Постановка задачи

Рассматривается типичный резервуар для хранения криожидкостей [2]. Для тепловой изоляции резервуара решается одномерная нестационарная задача теплопроводности и диффузии с учётом фазовых переходов и зависимости свойств изоляции от объёмной доли влаги. Схема области решения представлена на рисунке 1.

Внешний контур изоляции резервуара контактирует с влажным воздухом (рисунок 1), а влага, содержащаяся в нем, конденсируется на поверхности рассматриваемого объекта. Влагоперенос происходит только в талой (увлажненной) зоне путём миграции влаги к фронту промерзания за счёт пленочно-диффузионного механизма [3]. Для задачи теплопроводности на внутренней  $R_1$  и внешней  $R_2$  границах слоя тепловой изоляции вводятся граничные условия первого и третьего рода соответственно. Для задачи переноса влаги на границе фазового перехода  $\xi$  выставляется условие идеальной гидроизоляции, а на внешнем контуре взаимодействия  $R_2$  условие массообмена поверхности с окружающей средой (влажный воздух). В начальный момент времени температура  $T_0$  и относительное влагосодержание изоляции по объёму  $W_0$  равны постоянным величинам. Температура  $T_0$  равна температуре окружающей среды  $T_{oc}$ , а температура внутренней поверхности изоляции  $T_{пов}$  равна температуре холодной жидкости, которая ниже температуры замерзания  $T_3$ . В результате охлаждения тепловой изоляции образуется про-

мерзший слой (рисунок 1) переменной толщины  $\xi=f(t)$ , причем подвижная граница фазового перехода всегда имеет температуру замерзания  $T_3$ .

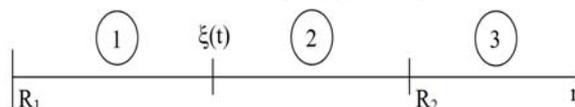


Рис. 1. Схематическое изображение области решения:

1 – зона промерзшей изоляции, 2 – зона увлажненной изоляции, 3 – влажный воздух.

### Математическая модель

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_{\text{эф1}} \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \quad R_1 < r < \xi(t), \quad t > 0;$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_{\text{эф2}} \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right), \quad \xi(t) < r < R_2, \quad t > 0;$$

$$\frac{\partial W_2}{\partial t} = D_2 \left( \frac{\partial^2 W_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W_2}{\partial r} \right), \quad \xi(t) < r < R_2, \quad t > 0.$$

Начальные условия:

$$T = T_0, \quad R_1 \leq r \leq R_2, \quad t = 0;$$

$$W = W_0, \quad R_1 \leq r \leq R_2, \quad t = 0.$$

Граничные условия:

$$T_1 = T_{\text{пов}}, \quad r = R_1, \quad t > 0;$$

$$-\lambda_{\text{эф2}} \frac{\partial T_2}{\partial r} = \alpha (T_2 - T_{oc}) - Q_s j, \quad r = R_2, \quad t > 0;$$

$$-D_2 \frac{\partial W_2}{\partial r} = \beta (W_2 - W_{oc}), \quad r = R_2, \quad t > 0;$$

$$\frac{\partial W_2}{\partial r} = 0, \quad r = \xi(t), \quad t > 0;$$

$$\lambda_{\text{эф1}} \frac{\partial T_1}{\partial r} - \lambda_{\text{эф2}} \frac{\partial T_2}{\partial r} - Q_3 D_2 \frac{\partial W_2}{\partial r} = Q_3 \rho_v W_2 \frac{d\xi}{dt},$$

$$T_1 = T_2 = T_3, \quad r = \xi(t), \quad t > 0.$$

Обозначения:  $T$  – температура, К;  $t$  – время, с;  $r$  – координата, м;  $R$  – граница области расчета, м;  $\xi$  – координата границы промерзания, м;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $C$  – теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к поверхности изоляции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $Q_3$  – удельная теплота плавления (замерзания),  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $Q_s$  – удельная теплота парообразования (конденсации),  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $W$  – относительное влагосодержание изоляции по объёму;  $j$  – плотность потока массы,  $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $D$  – коэффициент диффузии капельной влаги,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Индексы: 0 – начальный момент времени; 1, 2 – промерзшая и непромерзшая зоны изоляции; ос – окружающая среда, пов – внутренняя поверхность изоляции, эф – эффективное значение, и – изоляция, л – лед, в – вода.

#### Метод решения и исходные данные

Рассматриваемая задача решена методом «ловли фронта в узел пространственной сетки» [4].

В качестве примера рассматривается типичный объект для хранения сжиженного углеводородного газа – аппарат диаметром  $d = 2400$  мм [2]. В качестве изоляционного материала выбран полистирол ПС-1 толщиной 50 мм [2]. Температура внутренней границы  $R_1$  равна температуре крижидкости в резервуаре  $T_{пов} = 230$  К. Температура окружающей среды варьировалась в диапазоне  $T_{ос} = 290-300$  К, относительная влажность воздуха  $\varphi = 60-100\%$ , начальная объемная влажность изоляции  $W_0 = 1\%$ . Коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности изоляции составлял  $\alpha = 5,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), коэффициент диффузии влаги в полистироле ПС-1  $D = 2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/ч, теплота фазового перехода  $Q_3 = 334,11 \cdot 10^3$  Дж/кг [5].

В таблице 1 приведены значения теплофизических характеристик веществ и материалов [5, 6], использовавшихся при проведении численного моделирования.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов и веществ.

Материал/ вещество	$\lambda$ Вт/(м·К)	$C$ Дж/(кг·К)	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>
Вода	0,6	4186	994,04
Лед	2,4	1924	916,8
ПС-1	0,0342	1183	100

#### Результаты исследования

Основные результаты численного моделирования приведены в таблице 2 и на рисунке 2. В таблице 2 приведены величины теплопритоков к резервуару с учетом  $q_1$  и без учета  $q_2$  промерзания тепловой изоляции, сравнение этих величин между собой  $\delta_1$ , а также время выхода процессов на стационарный режим  $t_{ст}$  при различных значениях  $T_{ос}$  и  $\varphi$ .

Погрешность по балансу энергии  $\delta_2$  (таблица 2) во всех вариантах численного анализа не превышала 0,5 %, что является приемлемым при проведении исследований тепловых режимов резервуаров для хранения крижидкостей.

Таблица 2. Результаты численного моделирования.

$T_{ос}$ К	$\varphi$ %	$q_1$ Вт/м	$q_2$ Вт/м	$\delta_1$ %	$\delta_2$ %	$t_{ст}$ ч
290	60	447,8	282,9	36,8	0,50	15
	80	456,7		38,0	0,28	65
	100	466,8		39,4	0,26	70

295	60	479,7	306,5	36,1	0,34	70
	80	495,1		38,1	0,38	140
	100	511,0		40,0	0,35	150
300	60	516,7	330,0	36,1	0,23	150
	80	539,1		38,8	0,04	230
	100	564,1		41,5	0,14	460

Результаты численного моделирования, приведенные в таблице 2, позволяют говорить об ожидаемом увеличении теплопритоков к резервуару с ростом температуры окружающей среды  $T_{ос}$ , относительной влажности воздуха  $\varphi$  и содержащейся в структуре изоляции влаги.

#### Заключение

Проведены моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения криогенных жидкостей и численный анализ интенсификации потерь холода с учетом промерзания тепловой изоляции и миграции влаги к фронту фазового перехода.

Установлены масштабы увеличения теплопритоков в рассматриваемой системе вследствие увлажнения, промерзания и наличия фазовых переходов в структуре и на поверхности слоя тепловой изоляции.

Выявлено, что следует учитывать нестационарность процессов переноса во влагоустойчивой изоляции резервуаров для хранения крижидкостей при их проектировании и анализе режимов работы.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

#### Список литературы:

- Петров-Денисов В.Г., Масленников Л.А. Процессы тепло- и влагообмена в промышленной изоляции. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 192 с.
- Официальный сайт ЗАО «ПЗЭМ». 2011. URL: <http://www.pzem.ru/taxonomy/term/21> (дата обращения: 19.09.2011)
- Комаров И.А. Термодинамика и тепломассообмен в дисперсных мерзлых породах. – М.: Научный мир, 2003. – 608 с.
- Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
- Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Влажный воздух. Состав и свойства: Учеб. пособие. – Спб.: СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.
- Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. Теплофизические свойства материалов при низких температурах. Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Хаустов С.А.

Научный руководитель: Заворин А.С., д. т. н., проф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [plazm@scalpnet.ru](mailto:plazm@scalpnet.ru)

В современном мире постоянно отмечается увеличение потребности в энергии в сочетании с удорожанием первичных источников энергии. В связи с этим активно развиваются программы, направленные на энергосбережение и энергоэффективность. Фундаментальный показатель энергоэффективности – коэффициент полезного действия (КПД). Чем ниже КПД котлоагрегата, тем больше необходимо сжечь топлива для обогрева одной единицы полезного объема.

Однако котел не только производит энергию, но и потребляет ее на собственные нужды. Это не только тепловая, но и электрическая энергия, которая расходуется на привод дымососа, вентилятора, питательных насосов, механизмов топливоподачи и т.п. Таким образом, различают КПД-брутто и КПД-нетто, который в свою очередь учитывает все энергозатраты на собственные нужды котла. Энергоэффективный котел должен обладать высокими параметрами КПД-брутто и КПД-нетто, поэтому следует не только снижать теплопотери, но и уменьшать собственное энергопотребление котла. Наибольшая часть потерь тепла происходит с дымовыми газами. Эту потерю можно снизить, уменьшая температуру дымовых газов на выходе из котла за счет развития поверхностей нагрева, что увеличивает аэродинамическое и гидродинамическое сопротивления котла, а вместе с тем и энергопотребление двигателей насосов.

Таким образом, понижение теплопотерь котла приводит к повышению его энергопотребления. Для разрешения данного противоречия требуется найти оптимальный вариант. С этой целью на кафедре ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ разработана компьютерная программа, которая позволяет производить тепловой, аэродинамический и гидравлический расчеты жаротрубных котлов.

На настоящий момент все методики расчета жаротрубных котлов малой мощности используют метод конечных элементов, который подразумевает установку специального программного обеспечения и требует значительного количества времени для проведения расчетов. Это делает такие методики неприменимыми для решения поставленных оптимизационных задач, требующих перебора и обсчета всевозможных вариантов конструктивных схем жаротрубных котлов в реальном времени.

В то же время расчет жаротрубных котлов малой мощности по применяемому в настоящее время нормативному методу дает недопустимо большую погрешность. Это происходит из-за того, что конвективный теплообмен при тепловом расчете топочной камеры больших энергетических котлов в

явном виде не учитывается, так как составляет менее 5% от суммарного теплообмена.

На рис. 1 показана зависимость конвективного тепловосприятия в топочной камере жаротрубного котла от скорости дымовых газов. Тепловосприятие определялось по основному уравнению конвективного теплообмена, скорость изменялась за счет изменения диаметра сечения жаровой трубы. Из рисунка видно, что при скоростях дымовых газов в жаровой трубе более 3 м/с теплообмен конвекцией составляет значительную часть от суммарного теплообмена в топке и, следовательно, должен быть учтен во избежание очень большой погрешности расчетов.

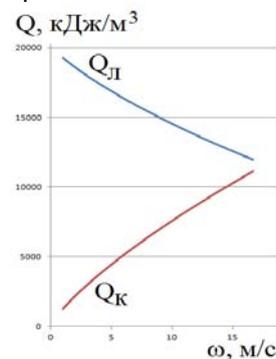


Рис. 1 Зависимость тепловосприятия излучением  $Q_{л}$  и конвекцией  $Q_{к}$  от скорости дымовых газов в жаровой трубе котла

Реализованная в программе методика теплового расчета топочной камеры несколько отличается от методики расчета топки больших энергетических котлов, рекомендуемой нормативным методом.

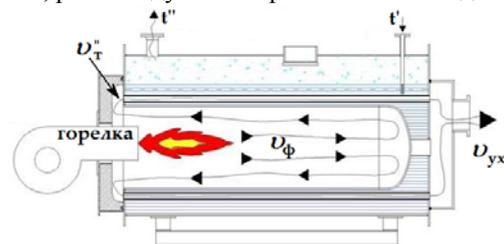


Рис. 2 Схема движения дымовых газов в жаротрубном котле с инверсивной топкой

На рис. 2 показана схема движения дымовых газов в жаротрубном котле малой мощности с тупиковой топкой, на схеме имеются обозначения:

$\vartheta_{\phi}$  – эффективная температура топочной среды;  
 $\vartheta_{T}''$  – температура дымовых на выходе из топки;  
 $\vartheta_{yx}$  – температура дымовых газов на выходе из котла

Температура на выходе из жаровой трубы в реализованной в программе методике рассчитывается по формуле:

$$g_T^* = \frac{Q_p}{(Vc)^n} - \frac{\varepsilon \cdot c_0 \cdot (T^*)^4 \cdot \psi F}{B_p \cdot (Vc)^n} - \frac{\alpha_k \cdot H \cdot \Delta t}{B_p \cdot (Vc)^n}. \quad (1)$$

Данная формула получена из формулы расчета температуры газов на выходе из зоны максимального тепловыделения при позонном расчете топочной камеры согласно [2]. Последнее слагаемое учитывает конвекцию в жаровой трубе котла по основному уравнению теплообмена из нормативного метода.

Для определения температурного напора  $\Delta t$  при конвективном теплообмене в топке используются температуры теплоносителя на входе и выходе из котла, а так же эффективная температура топочной среды и температура дымовых газов на выходе из жаровой трубы. Эффективная температура топочной среды  $g_{\phi}$  рассчитывается по формуле:

$$g_{\phi} = 0,925 \cdot \sqrt{T_a \cdot (g_T^* + 273)},$$

где  $T_a$  – адиабатическая температура горения, К. Известна конструкция жаротрубного котла с инверсией пламени в топочной камере. В этом случае для расчета температурного напора требуется задаваться температурой в точке разворота. Однако, подстановкой в формулу (1) различных значений была получена зависимость (Рис. 3), из которой видно, что изменение принимаемой температуры газов в точке разворота на  $500^{\circ}\text{C}$  влечет за собой изменение температуры дымовых газов на выходе из топки не более чем на  $15^{\circ}\text{C}$  (В нормативном методе допускается  $100^{\circ}\text{C}$ ). Следовательно, принятие в качестве температуры газов на повороте эффективной температуры топочной среды не повлечет за собой большой погрешности расчета.

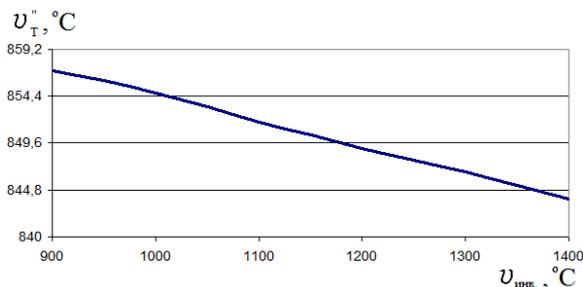


Рис. 3 Зависимость температуры дымовых газов на выходе из топки от принимаемой температуры разворота в инверсной топке

Алгоритм расчета всех поверхностей нагрева котла приведен в виде блок-схемы на рис.4, где  $v$  – температура дымовых газов,  $\varepsilon$  – допустимая погрешность, а под словом «пучок» подразумевается пучок дымогарных труб.

Реализованные в программе методики гидро- и аэродинамических расчетов согласованы с нор-

мативным методом. Сведение балансовых уравнений выполнялось методами последовательных приближений и бинарного поиска, балансы сведены с расчетной невязкой менее  $0,01\%$ .

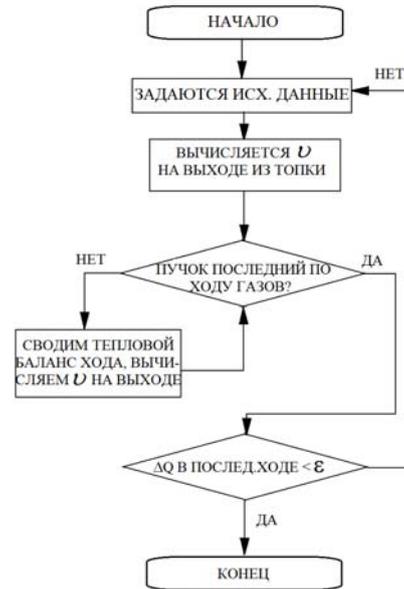


Рис. 4 Блок-схема алгоритма теплового расчета дымогарных трубных пучков

С помощью разработанной программы были проанализированы существующие конструкции водогрейных котлов российского производства. Результаты расчетов записаны в сводную таблицу, где для каждой конструкции котла указывались ее КПД, расход топлива, металлоемкость, сопротивления газового и водяного трактов.

Таким образом, на основе полученных данных можно дать оценку экономичности и эффективности рассмотренных конструкций котлов, а также выработать предложения по их усовершенствованию. Разработанная программа может стать полезным инструментом для проведения расчетов с целью повышения энергоэффективности существующих котлов, а также при разработке новых энергоэффективных жаротрубных котлов.

**Список литературы:**

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. 256 с.
2. Компоновка и тепловой расчет парового котла: Учеб. пособие для вузов/ Ю.М. Липов, Ю.Ф. Самойлов, Т.В. Виленский. – М.: Энерго-атомиздат, 1988. - 208 с.
3. Авдеева, А. А. Контроль сжигания газообразного топлива: Учеб. для вузов / А. А. Авдеева. – М., 1971. –256 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ТУРБИННОГО БУРЕНИЯ

Хмара Г.А.

Научный руководитель: Савиных Ю.А., к.т.н., доцент

Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

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

Нефтяная промышленность, включающая бурение скважин, глубиннонасосную добычу нефти, закачку воды в пласты для поддержания пластового давления, водоснабжение, перекачку нефти по магистральным и внутрипромысловым трубопроводам – полностью электрифицирована.

Буровые установки изготавливаются с электроприводом основных механизмов (ротор, буровая лебедка с талевой системой и буровые насосы), причем эти установки обеспечивают выполнение примерно 60% всего объема буровых работ.

На основе электрического привода решены задачи автоматизации подачи долота на забой, расстановки свечей при спуско-подъемных операциях, очистки и приготовления бурового раствора. Установленная мощность электрических машин на современной буровой установке достигает 4000 кВт [1].

Процесс сооружения скважин при турбинном способе бурения состоит из повторяющихся операций: спуска бурильных труб с забойным двигателем и долотом в скважину, разрушение породы на забое – собственно бурение, наращивание колонны труб по мере углубления скважины, подъема труб для замены изношенного долота.

В случае сокращения времени бурения – можно уменьшить потребление электрической энергии синхронных электродвигателей привода насосов и асинхронных электродвигателей привода лебедки.

Целью разработки энергосберегающей технологии турбинного бурения является усовершенствование технологии для снижения электропотребления основными и вспомогательными агрегатами.

Для обоснования способа энергосберегающей технологии турбинного бурения лежат основные положения.

Известно, что при поддержании осевой нагрузки на долото постоянной, отклонение скорости вращения долота от заданного значения составляет  $\pm 70 \div 190$  об/мин. Степень неравномерности вращения вала турбобура увеличивается с ростом глубины скважины и при переходе на бурение с применением глинистого раствора [2]. Поэтому серийные турбобуры и долота работают с высокой степенью неравномерности вращения 30-80%, из-за чего снижается их работоспособность.

Снижение механической скорости бурения увеличивает потребление электрической энергии, так как увеличивается время работы таких агрегатов как синхронные электродвигатели привода буровых насосов и асинхронные электродвигатели привода лебедки, а также вспомогательного оборудования.

Целью разработки энергосберегающей технологии турбинного бурения является усовершенствование технологии для снижения электропотребления основными и вспомогательными агрегатами.

Задача заключается в уменьшении неравномерности вращения долота на забое путем устранения низкочастотных колебаний в промывочной жидкости, вызванных работой буровых насосов, в широкой полосе.

Для решения поставленной задачи, во-первых, были проведены промышленные испытания по измерению параметров звука, генерируемого турбобуром и буровым насосом, на скважине №11512, куста №1151 на месторождении Уренгойское, Ен-Яхинской площади, ОАО «Тюменьбургаз» шумомером ВШВ-003 установлено, что буровой насос и турбобур генерируют достаточно высокий уровень звуковых колебаний  $\Delta L$  112-117 дБ. Особенно это наблюдается в диапазоне 125-500 Гц [3].

На рисунке 1 приведены амплитудно-частотные характеристики звука в промывочной жидкости: спектр долота (кривая 1), турбины турбобура (кривая 2), бурового насоса (кривая 3) и суммарный спектр (кривая 4).

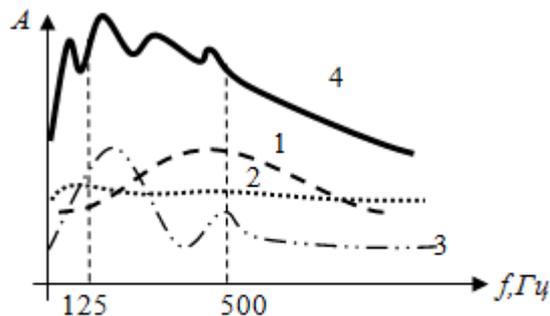


Рис. 1. Частотные спектры от источников звука в промывочной жидкости

Рис. 1. Частотные спектры от источников звука в промывочной жидкости

Во-вторых, предлагается использовать известный способ подавления низкочастотных колебаний, например при помощи наземных акустических режекторных фильтров (НАРФ), выполненных в виде четвертьволновых резонаторов.

С помощью НАРФ производится подавление не только основной частоты  $f_1$ , но и одновременно нечетных гармонических составляющих  $f_2, f_3$ , которые можно рассчитать по формуле [4]

$$f_{pn} = (2n - 1) \frac{c}{4l}, \quad (1)$$

где  $n=1, 2, 3, \dots$ ;  $l$  – длина резонансной камеры НАРФ;  $c$  – скорость звука в среде.

Ниже приводится пример расчета подавления полосы низких частот для разработки НАРФ.

При резонансной частоте, например,  $f_1=200$  Гц и скорости звука в промывочной жидкости  $c=1500$  м/с длина резонансной камеры составит  $l=1,875$  м. Резонансные гармоники при этом по формуле (1) равны  $f_2=600$  Гц,  $f_3=1000$  Гц.

Эффективность НАРФ зависит от добротности  $Q$  резонансной камеры по формуле [5]. При добротности, например,  $Q=2$  полоса подавленных НАРФ частот  $\Delta f$  равна

$$\Delta f_1 = f_1 Q = 200/2 = 100 \text{ Гц (от 150 до 250 Гц).}$$

Для нечетных гармоник полоса подавленных частот составит

$$\Delta f_2 = f_2 Q = 600/2 = 300 \text{ Гц (от 450 до 750 Гц),}$$

$$\Delta f_3 = f_3 Q = 1000/2 = 500 \text{ Гц (от 750 до 1250 Гц).}$$

На рисунке 2,а представлен спектр колебания в промывочной жидкости от бурового насоса перед НАРФ, на рисунке 2,б пример этого спектра после НАРФ.

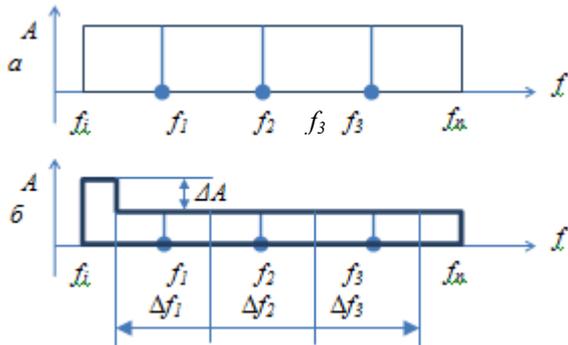


Рис. 2. Подавление спектра бурового насоса с помощью НАРФ

На рисунке 3 показана конструкция однокамерного НАРФ, представляющего собой кольцевую камеру, сообщающуюся с нагнетательной трубой через небольшое постоянно открытое отверстие.

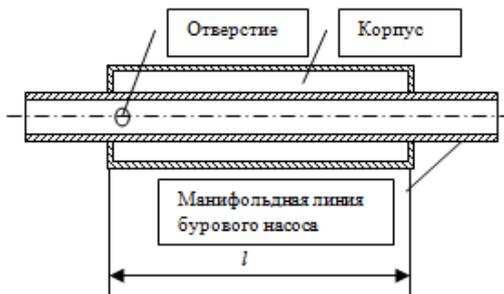


Рис.3. Конструкция однокамерного НАРФ

Для более эффективного подавления спектра бурового насоса необходимо использовать составные НАРФ, состоящие из двух, трех или более камер, соединенных последовательно.

Выбор конструкции НАРФ производится по требуемым исходным параметрам: ширины полосы подавления частот в спектре, генерируемом

буровыми насосами,  $\Delta f_i$  и глубины подавления этих частот по амплитуде  $\Delta A$ . Оба исходных параметра зависят от добротности  $Q$  НАРФ. С уменьшением  $Q$  ширина полосы подавления частот увеличивается, но уменьшается ее глубина, с увеличением  $Q$  увеличивается глубина подавления частот, но уменьшается ширина подавления.

Испытания однокамерной конструкции НАРФ проводились на скважине №1, куста 1 на буровой установке БУ3000ЭУК, Северо-Тарасовского месторождения Пурпейского УБР ПО «Пурнефтегаз» по специально разработанной программе. НАРФ был встроен в нагнетательную линию на выкиде бурового насоса У8-6МА2.

Результаты промысловых испытаний приведены в таблице.

Таблица

Номер скважины	Интервал бурения	Средние показатели бурения		
		Проходка на долото, м	Время бурения, ч	Механическая скорость, м/час
1	2	3	4	5
Бурение без НАРФ (базовый)				
5	526 – 1453	910	24,3	37,4
3	515 – 1435			
8	517 – 1308			
Бурение с НАРФ				
1	518 – 1489	973	21,5	45,2
2	520 – 1490			
3	523 – 1500			

Из таблицы видно, что использование НАРФ в нагнетательной линии бурового насоса приводит к уменьшению времени бурения на 12%, увеличению механической скорости проходки на 21%. Следовательно, уменьшается время потребления электрической энергии на бурение (питание синхронных электродвигателей привода насосов и асинхронных электродвигателей привода лебедки).

Увеличение проходки на долото в среднем на 63 м позволит сократить количество спуско-подъемных операций, что также сократит электропотребление на буровой установке.

#### Литература:

1. Меньшов Б.Г., Суд И.И. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности: учебник для вузов. - М.: Недра, 1984. - 416 с.
2. Балицкий П. В. Взаимодействие буровой колонны с забоем скважины. - М.: Недра, 1975. - С. 22-23.

## ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАСС В УСЛОВИЯХ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ

Хузеев В.А.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [vitaly@tomsk.ru](mailto:vitaly@tomsk.ru)

По различным оценкам, потери тепла при транспортировке теплоносителя составляют от 10 до 30 % и более. В тепловых сетях теряется вся экономия от комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ. В связи с этим, вопросы, связанные с анализом тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, эксплуатируемых в различных условиях, приобретают особую актуальность.

Целью данной работы является численный анализ масштабов тепловых потерь бесканальных теплотрасс в условиях промерзания грунта в зоне прокладки.

Рассматривается широко распространенная в РФ конфигурация подземного теплопровода, теплоизолированного пенополиуретаном и гидроизолированным слоем из полиэтилена. Схематическое изображение области решения приведено на рисунке

Для рассматриваемой области (рис. 1) решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный бесканальный теплопровод – окружающая среда».

Следует отметить, что решение нестационарной задачи теплопереноса для рассматриваемой системы (рис. 1) не является целесообразным, поскольку нестационарные режимы работы теплопроводов наблюдаются только при вводе тепловых сетей в эксплуатацию после плановых или внеплановых остановок и не являются характерными режимами их работы. [1].

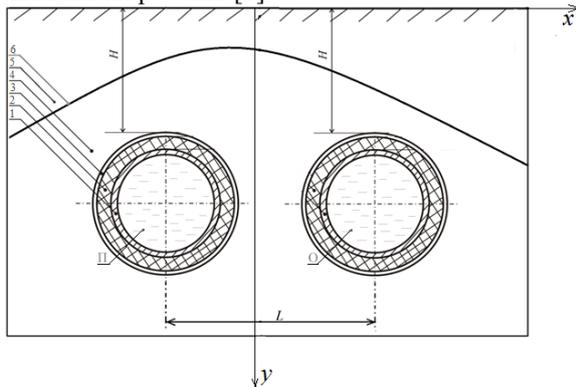


Рис.1. Схема поперечного сечения зоны прокладки бесканального теплопровода: 1 – металлическая стенка трубы; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – слой гидроизоляции; 4 – грунт талый; 5 – грунт мерзлый; 6 – граница раздела между талым и мерзлым грунтом; П, О – подающий и обратный теплопроводы.

При постановке задачи приняты следующие допущения:

1. На границах между слоями выполняется условие идеального теплового контакта (рис. 1).
2. Теплофизические свойства веществ (теплопроводность, теплоемкость) являются постоянными и известными величинами. Данное допущение объясняется тем, что в рассматриваемом диапазоне изменения основных влияющих параметров, теплофизические характеристики веществ изменяются незначительно, и этим изменением можно обоснованно пренебречь.
3. Не рассматриваются процессы теплопереноса в теплоносителях подающего и обратного трубопроводов.
4. Потери тепла не влияют на температуру внутренней поверхности трубы. Считается, что на внутренней поверхности труб подающего и обратного трубопроводов поддерживаются постоянные температуры, равные температурам теплоносителей.
5. Фазовые переходы в рассматриваемой системе не учитываются

Принятые допущения не накладывают принципиальных ограничений на общность постановки задачи и отражают достаточно реальный режим работы трубопровода тепловой сети.

Математическая постановка задачи для решаемой задачи имеет следующий вид:

$$\nabla^2 T_{d,p} = 0, \quad (1)$$

$$\nabla^2 T_{r,p} = 0, \quad (2)$$

$$\nabla^2 T_{d,i} = 0, \quad (3)$$

$$\nabla^2 T_{r,p} = 0, \quad (4)$$

$$\nabla^2 T_{d,h} = 0, \quad (5)$$

$$\nabla^2 T_{r,h} = 0, \quad (6)$$

$$\nabla^2 T_{s,g} = 0, \quad (7)$$

$$\nabla^2 T_{f,p} = 0. \quad (8)$$

На внутренних поверхностях подающего и обратного трубопроводов поддерживаются постоянные температуры, равные температурам теплоносителя в трубах:

$$T_{d,p,1} = T_{d,in} = \text{const}, \quad (9)$$

$$T_{r,p,1} = T_{r,in} = \text{const}. \quad (10)$$

На границах слоев реализуется условия идеального теплового контакта:

$$\lambda_p \text{grad}(T_{d,p,2}) = \lambda_i \text{grad}(T_{d,i,2}); T_{d,p,2} = T_{d,i,2}, \quad (11)$$

$$\lambda_p \text{grad}(T_{r,p,2}) = \lambda_i \text{grad}(T_{r,i,2}); T_{r,p,2} = T_{r,i,2}, \quad (12)$$

$$\lambda_i \text{grad}(T_{d,i,3}) = \lambda_h \text{grad}(T_{d,h,3}); T_{d,i,3} = T_{d,h,3}, \quad (13)$$

$$\lambda_i \text{grad}(T_{r,i,3}) = \lambda_h \text{grad}(T_{r,h,3}); T_{r,i,3} = T_{r,h,3}, \quad (14)$$

$$\lambda_h \text{grad}(T_{d,h,4}) = \lambda_s \text{grad}(T_{d,s,4}); T_{d,h,4} = T_{d,s,4}, \quad (15)$$

$$\lambda_h \text{grad}(T_{r,h,4}) = \lambda_s \text{grad}(T_{r,s,4}); T_{r,h,4} = T_{r,s,4}, \quad (16)$$

$$\lambda_{s,g} \text{grad}(T_{s,g,5}) = \lambda_{f,g} \text{grad}(T_{f,g,5}); T_{s,g,5} = T_{f,g,5}. \quad (17)$$

На поверхности раздела «мерзлый грунт – окружающая среда» реализуется условия конвективного теплообмена:

$$-\lambda_{f,g} \text{grad}(T_{f,g,6}) = \alpha(T_{f,g,6} - T_{ex}). \quad (18)$$

На достаточно большом расстоянии от теплопроводов (рис. 1) градиенты температур в грунте равны нулю:

$$\text{grad}(T_{f,g}) = 0, x \rightarrow \pm\infty, \quad (19)$$

$$\text{grad}(T_{s,g}) = 0, x \rightarrow \pm\infty; y \rightarrow \pm\infty. \quad (20)$$

Обозначения:  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Индексы:  $d$  – подающий;  $r$  – обратный;  $p$  – труба;  $i$  – изоляция;  $h$  – гидроизоляция;  $g$  – грунт;  $s$  – талый;  $f$  – мерзлый;  $in$  – внутренний;  $ex$  – наружный; 1 – внутренняя поверхность трубы; 2 – 6 соответственно границы разделов «труба – тепловая изоляция», «тепловая изоляция – гидроизоляция», «гидроизоляция – талый грунт», «талый грунт – мерзлый грунт», «мерзлый грунт – окружающая среда».

Рассматриваемая задача (1)–(20) решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [2] с использованием модуля General Heat Transfer [2].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, состоящей из 23511 элементов и 46972 узлов. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphysics, основанной на методе Делоне [3].

Таблица 1. Теплофизические характеристики [4]

Материал	Покровный слой	Тепловая изоляция	Стенка трубы	Грунт	
				Песчаный	
				Талый	Мерзлый
$\lambda$ , Вт/(м·К)	0,33	0,033	50,2	2.3	3.7
$C$ , Дж/(кг·К)	2200	1470	462	1486	1005
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	920	50	7700	2000	2000

Таблица 2. Результаты численного исследования

$\alpha$	$Q_1$ , Вт/м	$Q_2$ , Вт/м	$\delta_1 = (Q_2 - Q_1)/Q_2$
5	137,3939	144,7003	5,049
10	140,4841	149,9440	6,308
20	142,1013	152,2707	6,678
30	142,6525	153,2161	6,894

Из результатов численного моделирования, приведенных в таблице 2, видно, что увеличение коэффициента теплоотдачи от 5 до 30 Вт/м ведет к увеличению тепловых потерь с поверхности грунта на 3,68 %.

Замерзание грунта приводит к закономерному увеличению тепловых потерь на 5,58 %.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

#### Литература:

1. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ влияния радиационного теплообмена на тепловые режимы и тепловые потери теплопроводов // Известия вузов. Проблемы энергетики, № 5-6, 2011 с. 12-20.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. Шайдунов В.В. Многосеточные методы конечных элементов. М.: Наука, 1989. 288 с.
4. Гува А. Я. Краткий теплофизический справочник. Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ ПО СТЕПЕНИ УГЛЕФИКАЦИИ

Кызычаков В.С., Нестерова М.А., Табакаев Р.Б.

Научный руководитель: Долгих А.Ю., Табакаев Р.Б.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [chdv15@t-sk.ru](mailto:chdv15@t-sk.ru)

Углефикация – совокупность процессов преобразования торфа в уголь и дальнейшего изменения угля под действием геологических факторов (температуры, давления, продолжительности воздействия) [1].

От степени углефикации зависят: химический состав, физические и технологические свойства углей, определяющие возможные и наиболее рациональные направления их использования в теплоэнергетике. Это определяет необходимость более подробного изучения процесса углефикации. Для этого исследуют зольность, выход летучих веществ, теплоту сгорания, элементный состав.

Процесс углеобразования разделяют на две фазы: а) гумификация (торфообразование до покрытия торфяника кровлей); б) углефикация, которая в свою очередь подразделяется на две стадии [1]:

- 1) диагенез – преобразование торфа в бурый уголь;
- 2) метаморфизм – эволюция бурого угля, преобразование бурого угля в каменный, вплоть до антрацита.

Общая тенденция химических изменений при углефикации заключается в увеличении содержания углерода и теплоты сгорания, уменьшении – кислорода и выхода летучих веществ.

Для исследования влияния степени углефикации на характеристики топлив, были рассмотрены торфа, относящиеся к стадии гумификации, таловский бурый уголь (стадия диагенеза) и монгольский уголь (стадия метаморфизма). Наиболее «молодым» из исследуемых топлив является торф Суховского месторождения, расположенного в Томской области. Торф – низинный, коричневого цвета, однородного состава, плотный, степень разложения составляет 27 % [1]. Более углефицированным по сравнению с Суховским является торф Аркадьевского месторождения томской области, степень разложения которого – 30 %. Аркадьев-

ский торф относится к низинным, черного цвета, рыхлый.

Таловский бурый уголь относится к углям ранней стадии углефикации, о чем свидетельствует наличие в его составе неразложившихся остатков древесины и органических веществ. Уголь имеет неоднородный состав, коричневый цвет, хрупкий.

На наиболее поздней стадии из представленных топлив находится монгольский уголь. По своим характеристикам он приближается к каменному углю: черный цвет, блеск, высокая прочность и твердость.

Для анализа характеристик топлива в зависимости от степени углефикации, были определены теплотехнические характеристики и элементный состав, которые приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что с ростом степени углефикации зольность топлива, пересчитанная на сухую массу, уменьшается. Причем зольность суховского торфа, находящегося на самой ранней стадии углефикации, более чем в 3 раза превосходит зольность монгольского угля.

Анализируя данные полученные при определении выхода летучих веществ, можно заметить, что у суховского торфа по сравнению с аркадьевским наблюдается увеличение на 1,75 %, при сравнении с таловским углем – снижение на 6,09 %. При сравнении выхода летучих таловского и монгольского углей можно заметить, что разница составляет 19 %. Таким образом можно прийти к выводу, что на ранних стадиях углефикации (при переходе от торфа к бурому углю) наблюдается незначительное уменьшение выхода летучих веществ, дальнейшая углефикация (бурый уголь – каменный уголь) приводит к существенному снижению.

Теплота сгорания, пересчитанная на горючую массу, увеличивается с ростом степени углефикации. Данное явление объясняется тем, что при углефикации топлива происходит увеличение содержания углерода и водорода (табл. 2) – основных элементов, обеспечивающих теплотворную способность. К тому же происходит снижение содержания кислорода – нежелательной составляющей части топлива, понижающей его теплотворную способность.

Таблица 1. Теплотехнические характеристики топлив

Топливо	Теплотехнические характеристики		
	Зольность на сухую массу $A^{daf}$ , %	Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	Теплота сгорания $Q^{daf}$ , МДж/кг
Суховской торф	39,46	69,25	12,75
Аркадьевский торф	31,50	71,00	15,17
Таловский уголь	25,91	63,16	27,12
Монгольский уголь	12,51	44,16	26,37

Содержание серы увеличивается с ростом степени углефикации, причем содержание серы в монгольском угле более чем в 4,7 раза превосходит содержание в торфах. Можно отметить, что на ранних стадиях углефикации изменения содержания серы не происходит. Рост наблюдается при переходе торфа в бурый уголь – 0,29 % и при дальнейшей углефикации.

Таблица 2. Элементный состав топлив

Топливо	Элементный состав на горючую массу, %				
	$C^{daf}$	$H^{daf}$	$N^{daf}$	$S^{daf}$	$O^{daf}$
Суховской торф	41,85	4,03	2,13	0,15	51,84
Аркадьевский торф	45,81	4,52	2,91	0,15	46,61
Таловский уголь	68,38	6,28	0,62	0,44	24,28
Монгольский уголь	70,84	4,76	0,71	0,71	22,98

Выводы:

1) Полученные результаты подтверждают общие теоретические тенденции химических изменений при углефикации: происходит увеличение теплоты сгорания, содержания углерода, при этом наблюдается снижение зольности, выхода летучих веществ, содержания кислорода и азота.

2) Топлива, находящиеся на стадии гумификации (торфа Суховского и Аркадьевского месторождений), не рационально использовать для сжигания без предварительной переработки ввиду низких теплотехнических характеристик. Характеристики монгольского угля позволяют рассматривать его в качестве топлива для теплоэлектростанций. Для топлив стадии диагенеза уместно как прямое сжигание, так и их переработка с целью дополнительного улучшения теплотехнических характеристик.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Геологический словарь: В 2 т. Т. 2: Н-Я / Под ред. К. Н. Паффенгольца. – М.: Недра, 1978. – 456 с.

## АКУСТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ФРОНТА ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА

Шагалова Н.В.

Научный руководитель: Савиных Ю.А., к.т.н., академик РАЕН

Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

E-mail: [energo@tsogu.ru](mailto:energo@tsogu.ru)

Проблемы, связанные с приростом добычи нефти в настоящее время относятся к разряду стратегических. Согласно экономической стратегии России ЭС-2030 для решения этих проблем необходимо повысить нефтеотдачу пластов до 30-32% в 2013-2015 г.г. В связи с такой степенью интенсификации добычи развиваются, модифицируются и возникают новые методы увеличения нефтеотдачи (МУН). Одними из самых перспективных являются волновые методы [1]. Они не содержат реагентов, экологичны и эффективны. В качестве основного рабочего агента в них используются поля разной природы (электромагнитные, ударные, вибрационные, сейсмоакустические и т.д.).

Среди волновых методов воздействия на пласт выделяются методы акустического воздействия (АВ), среди них – акустические в ультразвуковом диапазоне частот с использованием пьезокерамических излучателей. Сегодня эти МУН наиболее развиты в теоретическом и аппаратурно-технологическом аспектах, особенно при воздействии на пласт и призабойную зону скважин. Они применяются автономно, используют комплект мобильного оборудования.

Кардинально отличается от имеющихся методов АВ акустическая технология выравнивания фронта заводнения пласта. Она построена на принципе синергизма, хорошо сочетается с классическими физико-химическими МУН.

Основное предназначение технологии – экономичная селективная водоизоляция обводненных участков залежи.

Метод основан на следующих положениях:

- в призабойной зоне нагнетательной скважины всегда имеются звуковые колебания, создаваемые турбулентными потоками жидкости, вытекающей из отверстия НКТ;
- колебания представляют собой шум, то есть аperiодический звук, состоящий из большого числа простых тонов различной высоты и силы;
- колебания имеют низкочастотный спектр, частота преобладающей гармоники зависит от диаметра отверстия трубы НКТ и перфорационных отверстий и находится в диапазоне 25-150 Гц.

Звуковые колебания НЧ распространяются в трещинах пласта как в волноводах, проникают в трещины, отражаются от их противоположных границ и образуют стоячие волны.

Воздействие звуковых стоячих волн на пластовую жидкость заключается в том, что крупные включения (гранулы полимеров, гелей, частицы грунта) останавливаются энергией волны и начинают совершать колебательные движения на одном месте [2]. Цель предлагаемого метода –

использовать и усилить энергию звукового влияния, которая обычно рассеивается или гасится акустическими устройствами, и увеличить эффект «задержки» частиц.

Цель недостижима с помощью колебаний НЧ, имеющихся в призабойной зоне, по следующим причинам:

- существование волн в трещине неустойчиво вследствие их низкого коэффициента отражения от стенок природных волноводов,

- воздействие на среду в трещине неравномерное вследствие малого количества полуволн, укладываемых на данной длине пропластка

Вышеизложенные недостатки устраняются с увеличением частоты стоячей волны: ВЧ-волны имеют высокий коэффициент отражения, узкополосную диаграмму направленности, что делает устойчивым существование волн в трещинах пласта, значительно сокращает потери энергии колебаний, а, следовательно, увеличивает и степень воздействия на среду.

ВЧ-спектр получается преобразованием НЧ-шума при помощи акустических резонаторов. Теоретическим обоснованием такого преобразования является выражение (1) [3] для резонансной частоты, поглощаемой резонатором.

$$f_{рез} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{F}{V \cdot h}}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость распространения звука в заданной среде, м/с,  $F$  – площадь поперечного сечения отверстия резонатора, м<sup>2</sup>,  $V$  – объем резонатора,  $h$  – длина отверстия, м.

Согласно выражению (1) физические возможности преобразователя звука зависят от его формы, поэтому допустимо применить самую простую конструкцию – отрезок трубы с отверстием на боковой поверхности.

В результате работы резонатора АЧХ технологического звука трансформируется следующим образом (рис. 1):

- гармоники низкой частоты ( $\Delta f_1$ ) вырезаются из спектра,

- спектр значительно расширяется за счет увеличения высокочастотных составляющих ( $\Delta f_2$ ),

- амплитуды гармоник ВЧ увеличиваются.

Такие изменения возможны за счет перераспределения той доли энергии, которую преобразует резонатор из полной энергии звуковой волны.

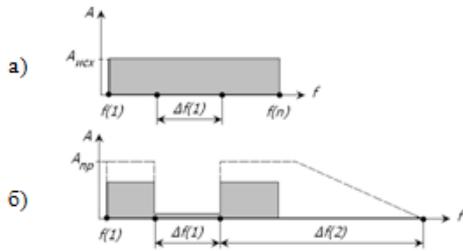


Рис.1. АЧХ спектра звуковых колебаний, трансформированных акустическим резонатором: а) – спектр частот, генерируемых отверстиями НКТ, с интенсивностью  $A_{нск}$ ; б) – полоса низких частот  $\Delta f(1)$  преобразована в полосу высоких частот  $\Delta f(2)$  с интенсивностью  $A_{пр}$ .

Степень интенсивности ВЧ-колебаний тем выше, чем больше доля преобразованной НЧ-полосы. Поэтому в акустической технологии необходимо, во первых, создать широкополосный спектр НЧ-звука как базового «материала» для его дальнейшего преобразования и, во вторых, применить несколько преобразователей с различной резонансной частотой.

Известно, что частота звука, генерируемая отверстием [4]

$$f_{рез} = \frac{1,5}{d}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр отверстия.

Поэтому задачу создания широкополосного спектра НЧ-звука можно решить размещением на образующей НКТ отверстий разного диаметра.

Комплект необходимых устройств и доработок для функционирования акустической технологии представлен на рис.2.



Рис.2. Комплект устройств в НКТ

На выходное отверстие НКТ установлена заглушка. Для истечения нагнетаемой воды на торце НКТ выше заглушки добавлен комплект отверстий, генерирующий одновременно широкополосный спектр НЧ-звука. Акустические резонаторы размещены на заглушенном торце НКТ. Каждый из них преобразует свою полосу НЧ-спектра.

В итоге при совместном использовании полученного высокочастотного звука с закачиваемыми в пласт полимерами стоячие волны задерживают частицы реагента с большой равномерностью по глубине трещины. Остановленные частицы начинают колебаться, сталкиваются и коагулируют. В результате акустического воздействия увеличивается время нахождения частиц полимеров в призабойной зоне трещин. За это время частицы успевают увеличиться в размерах и создают водоизолирующую пробку небольших размеров, надежно закрывающую обводненный участок.

Закрытые обводненные зоны пласта позволяют перераспределить направления фильтрационных потоков, активизировать мелкие трещины и пропластки низкой проницаемости, выровнять фронт заводнения, уменьшить обводненность и увеличить дебит нефти.

Ожидаемый результат применения акустической технологии представлен на рис.3.



Рис.3 Выравнивание фронта заводнения нефтяного месторождения

#### Список литературы:

1. Волновое воздействие на пласт // СМИ Республики Коми /подг. В.Сергеева; //Komipress.ru: инф портал Республики Коми.URL:<http://www.komipress.ru/smi/iss ue.php>(дата обращения 25.03.2011)
2. Бергман Л.Ультразвук и его применение в технике Л.Бергман.- 2-е изд. - М.:Изд-во Иностранной литературы, 1957. - 726 с.
3. Исакович, М.А. Общая акустика [Текст]: учеб.пособие. / М.А.Исакович. – М.: наука. 1973.- 496 с.
4. Савиных Ю.А., Грачев С.И., Медведев Ю.А., Шаталова Н.В. Технология выравнивания фронта заводнения[Текст] / Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. - 2010 - №5. – С.58-62.

---

---

## **СЕКЦИЯ 11**

---

---

# **ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**



## ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ. МОТИВЫ РУССКОГО НАРОДНОГО КОСТЮМА В СОВРЕМЕННЫХ ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЯХ

Большакова В.В., Оголь И.И.

Научный руководитель: Утьев О.М., ст. преподаватель.

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск,  
пр. Ленина, 30

E-mail: [bolshakovavaria@sibmail.com](mailto:bolshakovavaria@sibmail.com)

Метод литья по выплавляемым моделям является одним из древнейших способов литья, использовавшимся еще в древнем Египте для производства предметов быта и украшений. В совершенстве литье по выплавляемым моделям было разработано в 1950-е гг. Характерно, что этому расцвету литья способствовали новые формовочные массы на основе этилсиликата и гипса, а так же специальные резины и синтетические воски. В нашей стране этот вид литья получает развитие в 1968 г. В основном как в России, так и во всем мире данный вид литья применяется в промышленном ювелирном производстве.

Сущность способа литья по выплавляемым моделям состоит в том, что модель изготавливают из такого материала, который без разрушения формы можно выплавить или растворить и получить неразъемную форму, что обеспечивает высокую точность отливок. Чаще всего материалом модели является легко выплавляемая воскообразная масса [2].

Основные этапы данного вида литья [1]:

**Изготовление модели.** Для художественных отливок модель изготавливается из восковых смесей (парафин, стеарин и т.п.) традиционно в резиновых пресс формах. Отдельные части модели можно склеивать, используя пайку, а дефекты исправлять нагреванием места с дефектом.

**Монтаж модельных блоков.** Для получения ряда отливок одной плавкой восковки собирают в блоки (елки). Для данного метода сборка модельных блоков производится спаиванием.

**Формовка модели.** Модели формируют в цилиндрических металлических опоках, используя специальные ювелирные или стоматологические смеси (похожие на гипс). В опоку устанавливается елочка из моделей и литниковой системы, затем в опоку заливается формовочная смесь и опока устанавливается в специальную установку для ювелирного литья на вибро - вакуумный стол для того чтобы из смеси вышел воздух и поверхность формы стала более качественной.

**Выплавление модельного состава и прокатка формы.** Данная операция производится в сушильном шкафу. Режимы данной операции зависят от состава и характеристик выплавляемой массы. И могут варьироваться по времени от 6 часов до 18. Данная операция состоит из двух этапов: первый при низких температурах (около 100 °С) происходит выплавление модельного состава, второй – прокатка формы проводится при высоких температурах (от 300 до 750°С).

**Заливка металла.** Режим заливки металла имеет значение для качества поверхности отливки. Заливка металла так же производится на специальной установке.

**Чистка изделий.** Разрушение литейной формы и очищение поверхности изделий. Возможна обработка чеканкой и нанесение покрытий.

Литье по выплавляемым моделям имеет следующие преимущества [2]:

- высокая чистота поверхности и получение высокой точности размеров отливок;
- отсутствием разъема у моделей любой сложности;
- изготовление деталей сложнейшей конфигурации с толщиной стенок до 0,3 мм; отсутствием разъема у моделей любой сложности;
- гибкость технологического процесса, позволяющая быстро наладить производство новых изделий;
- минимальный расход металла на отливку;

К недостаткам данной технологии следует отнести одноразовое использование модели [1]. Дорогостоящее сопутствующее оборудование.

Учитывая возможности литья по выплавляемым моделям, были разработаны эскизы будущих отливок (см.рис. 1).

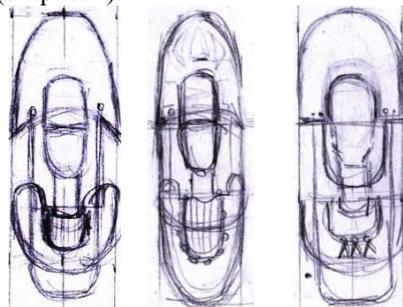


Рис.1. Эскизы подвески, автор: Большакова В.В.

На данном эскизе изображена подвеска, входящая в комплект женских украшений: серьги, подвеска и кольцо. Тематикой для созданного комплекта был выбран русский народный костюм. А точнее форма женского праздничного головного убора – двурогого кокошника. Двурогий кокошник - кокошник, мягкий сзади с высоким твердым очельем в форме равнобедренного треугольника или полумесяца с опущенными вниз к плечам острыми или слегка закругленными концами (см. рис.2).

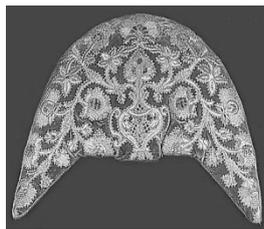


Рис.2. Кокошник XVIII в. Галич.

Стоит отметить, что при создании комплекта по созданным эскизам были внесены изменения в традиционный процесс литья по выплавляемым моделям, обуславливается это внедрением современных технологий в производство. В связи с чем, следующим этапом, после эскизирования, стал этап создания трехмерных моделей отливок в программном комплексе САПР SolidWorks(см. рис. 3).

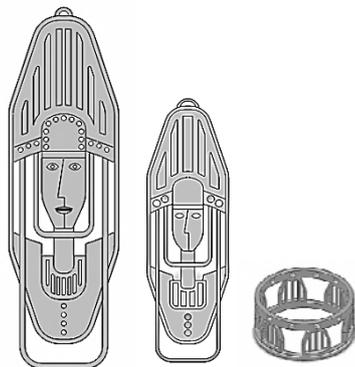


Рис.3. Трехмерные модели отливок комплекта.

Создание трехмерных моделей позволило написать управляющую программу для станка с ЧПУ и вырезать модели из восковых пластин на фрезерно-гравировальном станке Roland MDX-40A.

После чего вырезанные восковые модели и литниковая система были собраны в так называемую елочку (см. рис.4).



Рис.4. Елочка: сборка восковых моделей на литниковую систему.

Затем собранный блок формируется специальной формовочной смесью. Как уже говорилось, основным преимуществом литья по выплавляемым моделям является высокая чистота поверхности и точность отливки. Но на этапе формовки опоки, могут возникнуть дефекты в виде пузырьков в формовочной смеси, чтобы избежать этого, формы заливают смесью на специальной литейной маши-

не с вибро – вакуумным столом, в данном случае на машине pro-craft 21.800gx.

Далее литейная форма помещается в сушильный шкаф, где из нее выплавляется модельный состав и происходит прокалка формы. О специфике данного этапа говорилось выше.

После прокаливания формы, следует этап заливки металла. Данный этап осуществляется так же на литейной машине с вибро – вакуумным столом - pro-craft 21.800gx, для получения более качественных изделий.

Для изготовления комплекта украшений целесообразно применять художественные сплавы. В описанной работе использовался литейный сплав – латунь (Л63). Так как этот сплав обладает наилучшими литейными свойствами: хорошая жидкотекучесть, заполняемость и минимальная возможность усадки.

В ходе проведенного опыта были получены следующие результаты: модели изделий пролились с первого раза, но с некоторыми дефектами, к примеру, поперечные сечения некоторых элементов являлись слишком тонким. По этой причине изделия получились не прочными и были повреждены при последующей обработке. В связи с данной проблемой были внесены изменения в исходные трехмерные модели (см. рис.5). В дальнейшем предполагается повторное изготовление данного комплекта украшений.



Рис. 5. Измененная 3D модель подвески.

Из данной работы можно сделать вывод, что литье по выплавляемым моделям идеально подходит для изготовления ювелирных украшений. Стоит отметить, что помимо создания художественного изделия целью работы стояла задача как можно больше автоматизировать процесс литья по выплавляемым моделям, что было достигнуто использованием программы SolidWorks, а так же применением фрезерно-гравировального станка Roland MDX-40A и литейной вакуумной машины Pro-Craft 21.800gx.

#### Список литературы:

1. Иванов В. Н. Специальные виды литья: Учебное пособие/Под ред. В.С. Шуляка. – М. : МГИУ, 2007. – 316с.
2. <http://www.speclitprom.ru/article/article13.html> (последнее посещение 20.02.2012).

## ДИЗАЙН КАК ОСОБАЯ СФЕРА ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Вьюношева Ю.В., Петрова С.Г.

Научный руководитель: Петрова С.Г., к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,  
190008, Россия, г. Санкт-Петербург, Лощманская д. 3  
E-mail: [lab.design-05@mail.ru](mailto:lab.design-05@mail.ru)

Дизайн, дизайнерское творчество обосновано называют феноменом проектной деятельности, проектной культуры XX века. Человеку, как существу разумному, присуще специфическое свойство- проектное сознание, суть которого и цель состоят в стремлении осуществлять изменения в окружающей среде, в том числе искусственной, планировать решения возникающих при этом задач. [1]

Дизайн удивительная сфера человеческой деятельности, она, словно как по волшебству, может плавно перетекать почти во все области жизни.

Дизайн возник, когда старое необходимо было объединить в производство и в потребителя, возник потому что, общество перешло от ремесленного производства к промышленному и проектировщик стал оторван от потребителя, а дизайнер явился связующим звеном между производством и потреблением.

Дизайн осуществляет возможность функционирования вещи внутри общества, так как вещь имеет социальную функцию, с помощью вещей происходят отношения между людьми. Вещь может иметь знаковую функцию.

Общественная проблема, которая является специфической для теории дизайна, эта проблема соотношения вещей и человеческих отношений.

Таким образом, под дизайном понимается не только дизайнерское проектирование предметных объектов, а некоторый социальный механизм, который помимо дизайнерского проектирования, предполагает также наличие определенных социальных групп населения, нуждающихся в дизайнерски спроектированных продуктах промышленности, как средство осуществления своих социальных взаимоотношений.

Следовательно, дизайнер не просто согласует и координирует усилие специалистов, инженеров конструкторов и др., но он проводит эту координацию на определенной основе, в русле определенных требований. [3]

Объект дизайнерского проектирования – это противопоставления субъекту проектирования реальности, на котором сосредоточено его внимание в целях анализа, познания и преобразования. Дизайнерское проектирование реализуется по-разному, в зависимости от вида дизайна и типа объекта. Если графический дизайн занят решением задач, связанных с визуализацией коммуникаций и фирменным стилем, то для материаловедения в дизайне существуют также конструктивные факторы формообразования промышленных изделий. Для этого выделяют типы конструкций, которые используются в промышленных изделиях, влияющие на форму и пластику и образуют две основные группы: 1. пространственные, открытые конструкции;

2. закрытые конструкции, внешний контур которых типа оболочки может быть образован монолитной конструкцией.

мысленный дизайн сосредоточен на улучшении всех потребительских свойств приборов, оборудования и машин, имея ввиду и рентабельность их массового производства и формально-эстетического достоинства. Объект дизайна- это особенные формы дизайнерской продукции, характеристики размера, конфигурации, цвета, фактуры, ритма, которые должны быть преобразованы мастерством и интуицией автора в эстетической системе символики или образа.

Поэтому, немаловажную роль в дизайн проектирование имеет материал, из которого будет выполнено изделие. За эту часть знаний в дизайне, да и не только там, отвечает такая наука, как материаловедение.

Материаловедение - это прикладная наука, изучающая взаимодействие между составом, строением и свойствами материалов. Это постоянно развивающаяся наука, непрерывно обогащающаяся за счет разработки новых материалов, в свою очередь стимулирующих процесс во всех областях науки и техники. А так как влияние новых материалов и развитие дизайна происходит постоянно, то, соответственно, новые материалы оказывают влияние на дизайнерско-производственный процесс и наоборот.

В современной методике дизайна для достижения эстетической выразительности изделия технического назначения, выделяют следующие:

- обеспечение оптимального функционирования;
- применение технически-прогрессивных материалов, конструкций, технологических процессов;
- наглядное выявление в форме закономерности его функционального и технического строения, учет композиционно-стилевых требований.

В разных изделиях материал и конструкция по-разному влияют на форму. В большинстве случаев материал влияет на форму предмета не непосредственно, а через конструкцию. В простых изделиях конструкция элементарна и материал, как правило, используется в монолите. В сложном же изделии взаимосвязь между материалом и конструкцией и создаваемой формой иная. Ибо материал работает, полностью подчиняясь конструкции. Разные способы обработки материала различные технологические процессы так же влияют на образование формы. При использовании различных технологий получается и иная внешняя форма, по характеру, пластике, фактуре.

Эти два типа конструкций влияют на форму изделия по-разному, в открытых конструкциях на лицо прямая связь конструктивной основы с внешней формой, в закрытых конструкциях наблюдаются обратные явления, многие агрегаты скрыты за оболочками, кожухами и т.д. Здесь нет прямой непосредственной связи между конструкцией и внешней формой, в этом случае можно говорить о скрытой связи. [3]

Таким образом, выбор материалов и конструкции для дизайнера крайне важны при проектирование и ху-

дожественном конструировании любой детали или модели эстетическо-декоративного назначения.

Есть материалы, которые следует использовать в данных конкретных условиях эксплуатации. Следствием неправильного выбора материалов является плохое качество конструкций и оборудования. Нередко эти условия являются очень специфичными: низкие или высокие температуры, агрессивные химические среды, особые условия эксплуатации. Поэтому при выборе материала в первую очередь требуется всестороннее рассмотрение условий применения изделия. Определяющие факторы должны быть учтены обязательно, менее определяющие – по возможности.

Следующим этапом выбора материала должно быть определение комплекса необходимых свойств, обеспечивающих надежную и долговечную работу конструкций или конструируемого изделия. Так как конструкционные материалы характеризуются механическими, физико-химическими и технологическими свойствами, то рассматривать необходимо всю гамму свойств, особенно, если в конструкции должны работать различные материалы.

Часто комплекс требуемых свойств материала составляется не только на основе точного анализа или моделирования условий работы, но и на приближенных качественных данных или на опыте предыдущих изделий и похожих моделей.[2]

Важными при выборе материалов являются физико-химические свойства.

Физические свойства определяют поведения материалов в тепловых, гравитационных, электромагнитных полях. Из важных физических свойств можно выделить теплопроводность, плотность, коэффициент линейного расширения.

Под химическими свойствами понимают способность материала вступать в химическое взаимодействие с другими веществами, сопротивляемость окислению, проникновению газов и химически активных веществ.

Основой выбора материалов для создания надежной техники или модели являются их механические свойства, в первую очередь, прочность.

Также при выборе материалов просто необходимо учитывать не только механические, физические и химические свойства, но и технологические, а также возможности производства, где предполагается изготавливать проектируемое изделие. Технологические свойства весьма важны и могут быть решающими при выборе материала для изготовления высококачественных изделий в производственных условиях.[2]

При рассмотрении обрабатываемости материалов следует исходить из условий серийности изготавливаемого изделия и необходимости применения смягчающей термической обработки.

Дизайнер или художник-конструктор должен ясно представлять себе причины использования данного материала, возможности его замены, технологические особенности производства изделий из выбранного материала и методы контроля готовых изделий. Однако, при постоянном развитии науки материаловедения и прогрессивно движущегося современного

мира, оказывается необходимым выбирать не существующие материалы, а принципиально разрабатывать и использовать новые материалы с более высоким комплексом ранее недостижимых свойств и технологий их производства.

Таким образом, основой при выборе материалов являются назначения и условия работы изделия или конструкции. Дизайнер подходит к проектированию предмета с точки зрения технической функции и его эстетического начала.

Все это важно учитывать даже при конструировании художественно-декоративных изделий. Художник должен не только выполнять эскиз для своей работы и представлять как, из чего и каким образом происходит процесс производства (крупносерийное или единичное) изделия, но и четко понимать из какого материала наиболее выгодно и эстетически красиво можно сделать ту или иную модель.

Поэтому все вышперечисленные свойства и принципы выбора материалов просто необходимо знать и учитывать. Естественно, с учетом принципов эксплуатации и эстетико-декоративной функции.

В итоге, основным результатом проектирования является изделие. Изделие представляет собой результат целенаправленного преобразования, каких-либо материалов. Изделие представляет собой некоторую конкретность, отвечающую проекту, который представляет собой абстракцию. Существенное свойство изделия состоит в его подчиненности мысли проектировщика. Изготовленное изделие является результатом оплодотворения материи человеческой мыслью. Мысль проектировщика и конструктора обретает вид проекта, который становится конструкцией тогда, когда благодаря ему (проектировщику) становится возможным процесс изготовления изделия. Конструкция, как и проект, представляет собой абстракцию, существующую независимо от конкретности, которой является изделие. Не может существовать двух абсолютно одинаковых изделий, существуют лишь изделия одинаковых конструкций и материалов. Хотя, при всем этом можно выполнить изделие одной конструкции, но в различных материалах, что, в свою очередь, должен учитывать дизайнер при проектировании модели и дальнейшее ее использование в той или иной сфере деятельности.

Продуктом дизайна следует считать готовое промышленное изделие, а не дизайнерский проект. Дизайнер адресует свое сообщение определенной личности, ибо делает продукт индивидуальным для потребителя, но за реципиентом стоит среда, т.е. общество. Оно включает более широкую социальную структуру, которая формирует ее ценности и определяет поведение по отношению сообщений дизайнера.

#### Литература:

1. Рунге В.Ф. История дизайна, науки и техники: Учеб. Пособие. Издание в двух книгах. Книга 1.-М.: Архитектура-С, 2006.-368с., ил.
2. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. Материаловедение: Учебник для вузов.-М.: «МИСИС», 1999.-600с.
3. <http://www.bibliofond.ru>

## ДИЗАЙН НОВОГОДНЕЙ ВИТРИНЫ «ИГРА В СНЕЖКИ»

Евсютина Е.С.

Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [gerikey@sibmail.com](mailto:gerikey@sibmail.com)

В наши дни невозможно переоценить значение визуального облика витрины, которая призвана превратить просто прохожих в посетителей магазина, а лучше - в покупателей. Это своего рода наружная реклама, в которой можно замечательно представить товар магазина.

Первые витрины появились относительно недавно - в конце XIX - начале XX века. Сначала они были маленькими и функциональными. С внедрением новых технологий стало возможным производить стекла больших размеров, что и вывело витрины из глубин магазинов непосредственно к прохожим - потенциальным покупателям. Окна магазинов преобразились и стали функциональными, то есть демонстрировали, например, новую коллекцию, оповещали о предстоящей акции или скидках, символически украшались под стать предстоящим праздникам.[3] К одному из таких всемирно известному празднику, отмечаемому во всем мире, относится Новый год. Связи с ним наряжаются улицы города различными гирляндами, строятся снежные и ледяные фигуры деда Мороза, Снегурочки, оленей упряжки. Традиционно можно увидеть на улицах символы зимы - снежинки различных форм, размеров, подкрепленных разнообразными световыми эффектами. Облик нового года никак не может обойти и интерьеры различных магазинов, а для еще большего визуального эффекта и ощущения праздника, руководство магазинов часто украшают витрины своих бутиков различной новогодней символикой. Часто создаются индивидуальные проекты для конкретных магазинов - дизайн новогодних витрин. Это производится с целью привлечения покупателей, выделения своего магазина на фоне других конкурентов, индивидуализации заведения, рекламы своего товара, создание облика под стать предстоящему празднику, своевременная реакция на предшествующие праздники, что тоже играет не маловажную роль при создании общего имиджа и престижа магазина.

Из вех истории витрин нам известно, что в самом начале использовалась выкладка товара на подоконниках магазинов и специальных прилавках. Затем, с развитием освещения, витрины приобрели ещё большую популярность, настолько, что сформировали самостоятельное творческое направление, целью которого стала выгодная и привлекательная подача товара, а в странах Европы появилась новая профессия - витринный декоратор. [1]

Для того чтобы витрина вышла наиболее удачной и соответствовала своей функциональной особенности, выведен ряд, состоящий из нескольких факторов, которые должны быть учтены при разработке дизайна витрины, вот некоторые из них:

- дизайн витрины (идея, исполнение, композиционная целостность, использование акцентов, контрастов, актуального сочетания цветов);
- соответствие стиля оформления имиджу магазина;
- применение правильного освещения;
- ориентация на определённую целевую аудиторию;
- В витрине можно выставлять лишь те товары, которые имеются в продаже. Если товар распродан, его образцы необходимо снять с витрины;
- Используемый в витрине инвентарь не должен быть заметен, чтобы не отвлекать внимание от товара;
- Демонстрируя ассортимент товаров, имеющихся в данное время в магазине, необходимо учитывать фактор сезонности.

[1]

Новогоднее оформление витрин имеет свою специфику, однако должно соответствовать профилю конкретного магазина. Дизайнер, оформляющий витрину, несет ответственность за новизну идеи, стиль, новогодний дизайн и соблюдение традиций магазина.

Разработка дизайна витрины - это наука и искусство, требующее с одной стороны безукоризненного художественного вкуса и изысканной артистической натуры оформителя, и с

другой стороны, знания композиционно-художественных основ формообразования и актуальных технологических тенденций. [4]

Мною был создан проект новогодней витрины под названием «Игра в снежки». Для начала я провела обзор новогодних витрин в городе Томске. К сожалению, в нашем городе мероприятия на предмет основательной подготовки бутиков, магазинов и лавок к предстоящим новогодним праздникам развит слабо, - большинство заведений ограничиваются лишь созданием банальных новогодних образов в оконных пространствах своих заведений, украшением манекенов мишурой, иногда применяется новогоднее освещение, но как правило оно не особо связывается с общим видом витрины. Да, я согласна с тем, что работы по дизайну витрин требуют затрат хозяев магазина и не все готовы пойти на такие расходы. Но в тоже время создание уникального облика новогодней витрины способно привлечь к себе новых покупателей, людям будет приятно и интересно посещать подобное заведение, оно будет приглядно еще издалека.

В своем проекте новогодней витрины я решила совместить такие качества, как интересный, сравнительно необычный дизайн соответствующий зимним атмосфере, празднику и забавам, а также небольшая стоимость проекта, связи с использованием в нем недорогих материалов, что несколько не скажется на качестве и общем виде витрины.

Мною был разработан эскиз будущей витрины, созданный в программе CorelDraw (рис. 1). Это является очень удобным, так как в данной программе присутствует возможность изменения цветовой гаммы, без повторного перерисовывания общей композиции эскиза. А также возможна регулировка общего вида композиции витрины, путем видоизменения и переноса её составных частей, регулировки их цветов.



Рис. 1 Эскиз витрины «Игра в снежки», автор: Евсютина Е.С.

Так как Новый год для Сибири - это прежде всего зимний праздник, то за основу мной была взята холодная - синяя, голубая с оттенками серого и искрящегося серебристого цветов. Традиционно различные оттенки синего - это зимние холодные цвета, и они идеально дополняются серыми и белыми оттенками, при этом создается баланс не спорящих друг с другом цветов. При разработке эскиза новогодней витрины, мною была различным образом стилизована форма снежков: она была решена как на плоскости, так и в объеме. Если мы посмотрим на эскиз витрины, то увидим различные по размеру круги, которые или пересекаются или плавно переходят друг в друга. Возможность использования схожих или разных по яркости цветов позволила создать из кругов своеобразную композицию, круги-снежки чередуются, взаимозаменяются, перекрывают друг друга, что создает своеобразную игру.

Важной деталью в изготовлении витрин, является выявление её композиционного центра. Композиционным цен-

тром могут быть та или иная часть витрины, тот или иной товар или декоративный элемент. Он может совпадать с оптическим центром, а может иметь отклонение от него. Чтобы заставить зрителя осмотреть витринную экспозицию, необходимо правильно расположить и сгруппировать товары и элементы оформления, следуя при этом важнейшим правилам композиции, принятым в декоративном искусстве. [2] В представленной витрине роль композиционного центра исполняют полусферы снежков, в которых будут представлены товары, предлагаемые магазином. Белая паутинка полусферы как бы создаст ауру вокруг товара, а предполагаемая подсветка выведет товар на первый план, создав игру света на нем.

Также при оформлении витрин необходимо руководствоваться некоторыми основными принципами композиционной группировки товаров и декоративных элементов.

Один из принципов – это соблюдение равновесия (баланса). Простейшим видом равновесия является симметрия. Композиция витрины может быть различна: симметричная и асимметричная, плоскостная и пространственная. При симметричной композиции витрины предметы располагаются равномерно от центра по обе стороны воображаемой оси, т. е. левая сторона выкладки является зеркальным отражением правой. При асимметричной композиции центр ее смещается. Одна сторона витрины может быть заполнена больше, но в целом композиция должна быть уравновешена. Равновесие достигается правильным распределением отдельных элементов в плоскости витрины. [2]

В данном проекте был использован принцип асимметричной композиции, т.к. в данной композиции возможно создать эффект динамики. Таким образом само расположение элементов оформления в витрине создаст впечатление движения. Динамичное решение больше действует на зрительное восприятие человека, а, следовательно, помогает привлечь внимание покупателя к рекламируемому товару. На практике чаще всего применяют асимметричное равновесие. Кроме того, асимметричная композиция дает возможность создавать больше вариантов оформления.

Еще один из принципов — это соблюдение ритма. В композиционном решении оформления витрины ритм представляет собой повторение очертаний отдельных предметов или групп товаров, а также расстановки между отдельными предметами или их группами. [2] При разработке мною эскиза данной витрины был использован такой прием, как ритмичное чередование окружностей разных размеров и цветов. Они были по-разному отдалены друг от друга, как на плоскости так и в пространстве – уходя вглубь витрины. При этом не нарушалась общая сбалансированная композиция эскиза.

После разработки эскиза мною был изготовлен макет будущей витрины (рис. 2). Уже готовая витрина предполагает такие габаритные размеры: 168 x 224 x 80 см.

Данная витрина является своего рода универсальной зимней витриной, связи с возможностью размещения в ней товаров различных по сфере торговли магазинов, а так же предусматривается их замена вследствие появления новых тенденций. В данном макете роль «товаров» исполняют новогодние игрушки, что тоже возможно, как вариант оформления оконного пространства магазина. В реальности это могут быть какие-то игрушки, если это магазин детских товаров, либо различные кожаные изделия: от сумок до перчаток, если это магазин кожгалантереи. Также в данной витрине могут быть представлены муляжи различных фруктов, овощей, хлебобулочных изделий или просто какие-то таблички предупреждающие о возможных акциях и скидках связи с новогодними праздниками, вариантов достаточно много.

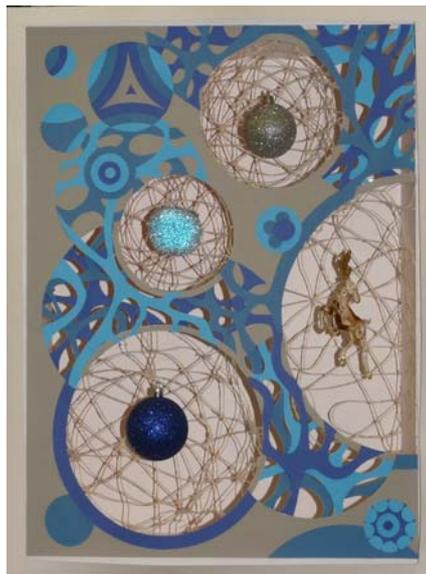


Рис. 2 Макет витрины «Игра в снежки», автор: Евсютина Е.С.

Также данную композиция витрины можно продлить на два окна, например, зеркально отразив её или поиграв с её композицией, не изменяя идею.

В целом витрина получилась весьма неординарной и запоминающейся, а по себестоимости сравнительно недорогой. Многофункциональность витрины только увеличивает её возможность появления на улицах города, для доставления радости жителям, скрашивая окна магазинов, улицы города и создавая своим присутствием ощущение праздника и новогоднего волшебства.

#### Список использованной литературы:

1. Белорусцева Д.В., Шеховцова Е.А., Котлова Г.Р. Научный руководитель: Кухта М.С. Аспекты создания витринного пространства. Анализ применения основных средств композиции в студенческих работах.
2. <http://88.86.72.250/html/db/710/8.htm> «Витрина как средство рекламы»
3. <http://www.window-shopping.ru/cat/history/> «История оформления витрин»
4. Кухта М.С., Серяков В.А. Художественные и технологические принципы дизайна новогодних витрин // Дизайн. Материалы. Тех-нологии. 2008. № 1(4), с. 42-45
5. Шестакова М.А., Панова В.Н., Научный руководитель: Кухта М.С. Художественные принципы создания витрины: назначение и организация Витринного пространства. // XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», 24–28 марта 2008 г. Труды в 3-х т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008 – Т.3. – 400 с., 554.

## ПРАВИЛА КОМФОРТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Зайцева В.Н., Бурякова А. С., Черевкова Я. В.

Научный руководитель: Черевкова Я.В., асс. кафедры «Строительные материалы»

Ростовский государственный строительный университет,

Россия, г. Ростов – на – Дону, ул. Социалистическая, 162

E-mail: [yana-cherevkova@yandex.ru](mailto:yana-cherevkova@yandex.ru)

В последнее десятилетие произошел настоящий прорыв в сфере проектирования систем освещения и светодизайна. Появился доступ к разнообразной продукции мировых производителей светильников, на рынке появилась масса новых технологических и дизайнерских решений. Люди стали понимать, что продуманное и хорошо спланированное освещение не только улучшает и дополняет хороший интерьер, но и может полностью преобразить облик помещения.

Основным действующим инструментом светодизайна является, конечно, свет, который и создает определенное впечатление о пространстве, цвете, форме, фактуре предметов. При этом светодизайн призван одновременно решать не только эстетические, но и функциональные задачи в зависимости от назначения того или иного помещения. Мало кто знает, что такое оптимальная освещенность, правильная цветопередача, грамотное распределение яркости света и тенеобразование. Именно на эти параметры опираются светодизайнеры.

Световой дизайн не является ни искусством и ни наукой в чистом виде, а скорее чем-то усредненным между ними. Профессиональному светодизайнеру необходима не только креативная идея, но и понимание физических свойств света и принципов работы источников света[1].

С помощью искусственного освещения, которым оперирует светодизайн, возможно корректировать недостатки естественного освещения помещений. Таким образом, можно сказать, что светодизайн является современной наукой о методах и средствах грамотного использования возможностей света при проектировании дизайна помещения с целью решения практических и эстетических задач по освещению помещений.

Правильно подобранное освещение играет важнейшую роль при проектировании помещений, так как с помощью световых решений можно создавать необходимое настроение, визуально изменять пропорции и размеры пространства, расставлять определенные акценты в дизайне интерьера, подчеркивая его достоинства и скрывая недостатки.

Цвет - важнейший инструмент декорирования, он способен оказывать благотворное влияние на человека. Различные цвета воздействуют на нас различными способами, влияя на наше настроение. Условно цвета разделяют на "теплые" и "холодные". "Теплые" цвета более активные, к ним относят красный, оранжевый, желтый и близкие к ним по спектру. К "холодным" цветам относят более спокойные нейтральные зелёный, голубой, синий, фиолетовый. Каждый из этих цветов имеет специ-

фическую энергетическую отдачу и способен создать особое настроение.

Обычно при разработке дизайна интерьеров, рекомендуется использование контрастной цветовой схемы, т.е. различные зоны оформляются в соответствии со своим цветом. Красный цвет в интерьере в значительной мере поднимает настроение, стимулирует активность. Ярко-красный свет способен оказывать физическое воздействие на человека: учащать сердцебиение, стимулировать аппетит и подходит для оформления гостиной, прихожей, столовой, кухни, будуара. Жёлтый цвет, цвет солнца - также достаточно активен, но он намного мягче красного и более лёгок к восприятию. Зелёный - относительно универсален и может быть использован практически везде, он смотрится достаточно интересно и оказывает благотворное успокаивающее действие. Зелёный цвет хорош для декорирования интерьеров гостиных, спален, детских комнат, рабочих кабинетов и других помещений. Синий свет выглядит более ярким и насыщенным, он успешно используется в ванных комнатах, бассейнах, туалетах и противопоказан к применению на кухне, в столовой или гостиной.[2].

Существуют и другие «хитрости» светодизайна, которые позволяют изменять пространство помещений. Так, визуально уравновесить вытянутую комнату можно, если ярко осветить её дальнюю стену, сохраняя равномерное освещение других стен. Небольшое квадратное помещение «вытянется», если провести освещение вдоль одной из стен. Узкий длинный коридор станет шире при помощи яркого продольного освещения, расположенного по всему периметру помещения. Для того, чтобы зрительно увеличить высоту потолков, нужно равномерно разместить подсветку по периметру комнаты и спрятать её за фальш-панелью. Если надо скрыть высоту потолка, свет необходимо направлять вниз и на стены. Изменяя угол падения света, можно даже создать иллюзию «наклонного» потолка. А направленным пучком света обычно выделяют определенную деталь обстановки, достойную отдельного внимания.

От качества освещения зависит наша работоспособность. Яркий свет влияет на определённые клетки глаза и активизирует нервные окончания, повышает внимание. В то же время свет влияет и на наше настроение: чем его меньше, тем больше шансов загрустить и впасть в депрессию.

Поскольку от качества света зависит ваше психическое состояние, этим можно воспользоваться, чтобы создать рабочие и нерабочие зоны в вашей квартире. Соответственно, рабочие должны быть

освещены максимально хорошо, нерабочие — более или менее, а спальня и вовсе может обойтись неяркой люстрой и прикроватным бра.

Всё возможное, что мы видим, - это благодаря световым волнам. Параметры, характеризующие освещение – такие как яркость, угол падения и ширина светового потока – влияют на восприятие человеком окружающего пространства и обеспечивают комфортную и безопасную жизнедеятельность человека.[3] Поэтому управление потоками света, создание необходимой световой атмосферы, сопутствующей человеку в различных сферах его деятельности, имеет особую важность. Именно решением этих важных вопросов занимается такая отрасль дизайна, как светодизайн.

Создание грамотного дизайна освещения достаточно серьёзная, трудоемкая задача, его разработка должна производиться с учётом множества нюансов. В соответствии с задачами, которые ставятся перед проектом светодизайна, различают четыре основных типа освещения: общее фоновое освещение, местное и направленное освещение, декоративное освещение.

Общее фоновое освещение создается посредством одного светильника или системы световых приборов. Общее освещение объединяет территорию и способно зрительно увеличить ее площадь. Местный и направленный свет служат для освещения отдельных зон в помещении, либо для освещения или подсветки некоторых деталей интерьера. Для местного освещения могут использоваться самые разнообразные световые приборы: потолочные галогенные или люминесцентные светильники, точечные светильники, прожекторы, бра, накладные светильники, торшеры, настольные лампы.

Если первые перечисленные виды освещения выполняют практически чисто функциональную роль, то декоративный свет призван украсить интерьер и внести в него эстетику и индивидуальность. Для декоративного освещения могут быть использованы любые виды светильников: как несущие декоративную нагрузку уже по своей форме, стилю и конструкции, так и светильники или группа светильников, выполняющих декоративную функцию в интерьере[4].

В современном интерьере очень важно не ограничиваться только одним типом освещения. Соединив в одном помещении общее и местное освещение, и добавив несколько арт-объектов с направленным или декоративным светом, вы получите впечатляющий эффект. К тому же, это позволит вам менять настроение комнаты, простым движением руки – включая или выключая те или иные светильники. Грамотное и комплексное

использование освещения делает светодизайн более гармоничным и завершённым, добавляя интерьеру стильность и шарм, делая его элегантным и запоминающимся.

Магические воздействия на человеческое восприятие сочетания света и цвета известны издавна. При помощи грамотно использованного цветового освещения можно визуально увеличить пространство или сделать его более привлекательным. Свет и цвет служат светодизайнеру инструментом для визуального разделения либо объединения территорий.

Современные световые устройства, используя соответствующие цветофильтры и системы отражателей из различных материалов, способны создавать освещение необходимого цветового диапазона.

Грамотный дизайн освещения для интерьеров должен разрабатываться совместно с общим дизайн-проектом, при этом необходимо учитывать различные параметры помещения, такие как: площадь, высота потолков, количество окон и их расположение, цвет используемых в оформлении помещений материалов, местоположение и вид мебели, а также многое другое. Подбор светильников и светового оборудования осуществляется в строгом соответствии с дизайн-проектом.

Под воздействием света создаётся наше визуальное представление о пространстве, его форме, размерах, цветовые ощущения. Поэтому для современного человека роль светодизайна возросла необычайно, ведь именно он создает образ интерьера. И если предметы и их пространственные взаимоотношения в квартире достаточно статичны, то свет и световая "оркестровка" гибка до бесконечности[5].

Соблюдать правила, возможно, и утомительно, но, не бесполезно. Однако, даже в тем рамках, которые созданы вокруг нас, вполне возможно найти именно те решения, которые сделают наш интерьер самым красивым и запоминающимся, потому что светодизайн и архитектурная подсветка — это и есть современное искусство.

Инновационный дизайн света на основе использования светодиодов и возможности объединения передовых технологических разработок и разумных решений меняют жизнь к лучшему.

#### Список используемых источников:

1. [www.di-studio.ru](http://www.di-studio.ru)
2. [www.tekhouse.ru](http://www.tekhouse.ru)
3. [www.svetonoff.ru](http://www.svetonoff.ru)
4. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
5. [www.mahat.ru](http://www.mahat.ru)

## РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВОСКРЕСЕНСКОЙ ЦЕРКВИ

Зверева Н.В.

Научный руководитель: Куницкая И.В., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [natalya\\_zv@rambler.ru](mailto:natalya_zv@rambler.ru)

Введение

Архитектурное освещение (АО) религиозных объектов (храмов, церквей, соборов, часовен) является интереснейшей задачей, поскольку позволяет показать всю красоту убранства церковных зданий в вечернее и ночное время суток, подчеркнуть историческую ценность памятников архитектуры [1].

Воскресенская церковь, расположенная на Воскресенской горе является одним из самых интересных храмовых сооружений г. Томска. Является памятником архитектуры республиканского значения.

В работе рассматривается архитектурный облик Воскресенской церкви, который представляет собой характерный образец сибирского барокко XVIII века с готическими

элементами в деталях внешнего и внутреннего убранства.

*Освещение архитектурных объектов.*

Освещение церквей - непростая задача. Сложность задачи заключается в том, что:

- Цветовая температура источника света (ИС) для передачи всей красоты золотых куполов храмов и церквей должна быть порядка 2700 К;
- Качество освещения объекта очень зависит от типа освещения (ламповые прожектора или заливающий свет) и от типа используемых ламп.

В таблице ниже приведены примеры организации архитектурного освещения известных памятников культового зодчества

Таблица 1. Примеры организации архитектурного освещения

Название объекта, город	Техническое описание ИС (СП)	Особенности
Колокольня Ивана Великого и Успенская звонница, г. Москва	МГЛ Р = 1кВт с $R_a = 90$ , $T_{цв} = 5600$ К (общее освещение); ДНаТ Р = 400Вт, $T_{цв} = 2000$ К (освещение золоченых куполов) [2]	Трехъярусный столп из удлиненных, уменьшающихся кверху восьмигранников, поставленных один на другой. Каждый из восьмигранников имеет террасу и открытую галерею, в арочных пролетах которой помещаются колокола.
Храма Преподобного Сергия Радонежского, в г. Волгограде	МГЛ Р = 150 и 250 Вт (колокольни и крестильни). На арматуре витража установлены зеленые ЛЛ с ЭПРА. Робщ = 6кВт [3]	Храм состоит из одноглавой церкви, колокольни крестильни, соединенных вестибюлем. Наличие с трех сторон витражей, отсутствие скульптурного декора.
Кафедральный собор в Трани, Италия	Высокоэффективные МГЛ $R_a > 80$ , $T_{цв} = 3000$ К; 190 прожекторов с МГЛ Р = 50...250 Вт [4]	Собор включает в себя сводчатую галерею, двойные лестницы, колокольню. Башня состоит из двух первых этажей с двойными сводчатыми окнами и других этажей с множеством сводчатых окон.
Освещение колокольни и Успенского собора Рязанского Кремля	ДРИ Р <sub>общ</sub> = 4600 Вт (Колокольня) МГЛ Р <sub>общ</sub> = 4140 Вт (Собор) МГЛ Р <sub>общ</sub> = 2070 Вт (Купола Собора) [5]	Светотехнические решения определены высотой колокольни, большой высотой шпиля, большим выносом межъярусных карнизов, декором колокольни.

АО можно разработать в двухмерном (2D) и в трехмерном виде (3D). Особенности 2D проектирования – это работа с фотографиями и эскизом, что приводит к несоответствию в дальнейшем с реализованным проектом.

Разработка 3D дизайн-проекта является трудоемким процессом. При выполнении трехмерной визуализации освещения речь идет о работе с трехмерной моделью здания.

Для церквей, возведенных в 16-18 веке, зачастую реальные чертежи здания не сохранены и, как правило, используются двумерные дизайн-проекты.

Воскресенская Церковь в недавнем времени была реставрирована, имеются чертежи этого здания, и есть возможность разработать

полноценный 3D проект этого культового сооружения.

*Модель Воскресенской Церкви*

Трехмерные модели многих современных архитектурных сооружений, имеющих несложные кубические формы, формы параллелепипеда, овальные переходы, и т.д., можно выполнить с использованием графических средств, встроенных непосредственно в программные пакеты, предназначенные для проектирования и расчета освещения архитектурного сооружения [6]. Однако, для создания моделей непростых объектов, таких, например, как объекты культового зодчества, выполненные в готическом стиле и стиле барокко, с колоннами и лепниной, необходимо использование программных комплексов, ориентированных на трехмерное

моделирование сложных геометрических конструкций.

В качестве таких комплексов можно использовать продукты компании Autodesk (AutoCad, Inventor), компании Dassault Systemes (SolidWorks, Catia), компании UGS Corp. Siemens (Solid Edge), и т.п. Каждый из перечисленных программных комплексов имеет приблизительно равные возможности: позволяет создавать трехмерные тела путем вытягивания определенного двумерного профиля, тела вращения, тела, сформированные по двумерным сечениям, выполненным в различных рабочих плоскостях, и т.п., выполнять операции объединения, разделения и пересечения созданных тел и, тем самым, формировать трехмерные объекты сложной геометрии.

Выполнение работ по созданию моделей сложных архитектурных объектов с помощью программ твердотельного моделирования очень сильно зависит от ресурсоемкости этих программ и мощности компьютера. В больших проектных организациях в целях обеспечения необходимыми ресурсами для таких программ используются мощные рабочие станции, включающие в себя десятки и сотни процессоров, а при работе на обычном компьютере создание объекта сопровождается определенными проблемами. Проблемы заключаются в том, что время проектирования какого-либо элемента модели, на начальном этапе работы составляющее доли секунды, по мере добавления новых элементов в модель и ее усложнения заметно увеличивается, и к моменту завершения создания модели может занимать до нескольких минут.

Решением этих проблем может быть разработка модели в виде отдельных компонентов, как, например, это показано на рисунке 1, с последующим объединением этих компонентов в единую сборку. Такой подход существенно упрощает создание модели, снижает требования к

мощности компьютера, а также снижает временные затраты на разработку модели.

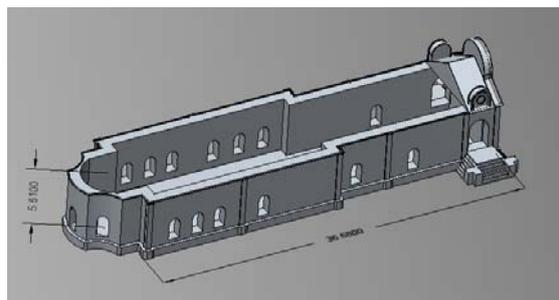


Рис. 1 – Компонент модели, включающий в себя элементы конструкции первого этажа Церкви Воскресения

Объединение отдельных компонентов в единую сборку возможно при использовании каждого из перечисленных выше программных комплексов, предназначенных для твердотельного моделирования конструкций со сложной геометрией. Причем это объединение выполняется таким образом, что при изменении элементов или свойств какого-либо из компонентов, входящих в состав сборки, происходит автоматическое обновление модели, и геометрия всей сборки перестраивается в соответствии с внесенными изменениями.

Разработанная с помощью описанных выше приемов модель архитектурного объекта далее сохраняется в одном из стандартных форматов данных, используемых при твердотельном моделировании (например, \*.IGES, \*.STEP, и т.п. [7]), и затем с использованием обычных программных средств экспортируется в формат \*.3ds.

Формат \*.3ds применяется для импорта трехмерных моделей архитектурных сооружений в программном пакете DIALux [6]. Окончательный вид разработанной трехмерной модели Воскресенской Церкви и импортированной в программу DIALux показан ниже на рисунке 3.

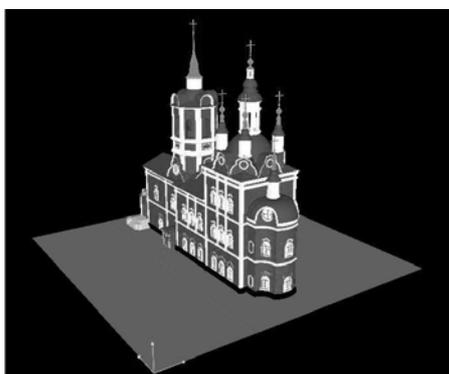


Рис. 2 – Трехмерная модель Воскресенской Церкви, импортированная в программу DIALux

#### Литература:

- 1 Василев И.М. «Архитектурное освещение храмов»
- 2 <http://www.lighting.philips.ru/projects/>
- 3 Светотехника № 4, 2002г
- 4 Светотехника № 1, 2006г
- 5 Светотехника № 6, 2004г.
- 6 [www.dialux.ru/](http://www.dialux.ru/)
- 7 <http://mkmos.com/article/qwewqewqe>

## АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КУРОРТНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ШАХТЁРОВ С УЧЁТОМ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ АДАПТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДОНБАССА)

Зёма О. В.

Научный руководитель: Гайворонский Е. А., канд. арх., доцент  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 86123, Украина, Донецкая область,  
г. Макеевка, ул. Державина, 2

E-mail: [zoma\\_1@mail.ru](mailto:zoma_1@mail.ru)

**Формулирование проблемы.** Угольная промышленность продолжает занимать одну из ведущих позиций в стратегии развития энергетики не только Украины, но и многих других стран. В настоящее время горнодобывающая отрасль Украины проходит реструктуризацию: сокращается количество нерентабельных шахт, модернизируются шахты с большим потенциалом развития. При этом угольная промышленность имеет высокий уровень производственного травматизма и заболеваемости трудящихся. Остро стоит вопрос совершенствования материальной базы медико-оздоровительного обслуживания шахтеров. Одним из существенных ее элементов на сегодня являются объекты курортно-оздоровительного назначения. Необходимо совершенствование их архитектурно-планировочной организации с учётом производственной адаптации шахтёров.

**Анализ предшествующих исследований и публикаций.** Проблемам организации различных направлений профилактики профессионального заболевания и производственного травматизма шахтёров посвящены основополагающие труды В. О. Вайнера, В. М. Валуциной, В. Г. Дейнеги, Ф. Х. Зингера, Ю. И. Кундиева и др. Вопросы архитектурно-планировочной организации объектов оздоровительно-профилактического назначения для шахтеров рассматривались в работах В. Е. Андреева, Е. А. Гайворонского, О. Л. Мирошник, И. К. Терзяна и др. При этом объекты курортно-оздоровительного назначения не рассматривались.

**Цели.** Разработка принципов и приемов архитектурно-планировочной организации (АПО) курортно-оздоровительных комплексов для шахтеров на основе анализа современных факторов: производственно-отраслевых, социально-производственных, социо-культурных, медико-организационных, а также современного опыта АПО существующих объектов курортно-оздоровительного назначения, ориентированных на обслуживание шахтёров.

### **Основной материал.**

Современный этап развития технологии добычи угля не способствует радикальной гуманизации условий труда шахтёров. Причины высокого уровня заболеваемости и травматизма: увеличение глубины добычи (более 1000 м), усложнение горно-геологических условий выработки, ее интенсификация, недостаточная эффективность технико-технологических средств и методов защиты от

вредных факторов [1], массовое появление не легализованных частных горнодобывающих предприятий, отсутствие законодательной базы, которая регламентировала бы максимальный период нахождения в условиях воздействия вредностей на организм без существенных последствий [1, 2]. Учитывая вышесказанное, для профилактики травматизма и лечения профзаболеваний, повышения устойчивости организма шахтёров к факторам подземной производственной среды, необходимо:

- комплексное включение оздоровительно-профилактических средств в структуру объектов производственного и внепроизводственного обслуживания шахтёров с учётом особенностей их условий труда;

- создание равных возможностей для оздоровления всех горнорабочих путём обязательного полного охвата их контингента курортно-оздоровительным обслуживанием;

- целенаправленный отбор и комплексное использование средств физкультуры и спорта, художественной культуры, архитектуры и дизайна для решения задач предупреждения профзаболеваний и травматизма горняков.

Специфика оздоровительно-профилактической работы с горнорабочими диктует необходимость включения в структуру курортно-оздоровительных комплексов специальных функционально-планировочных элементов:

- процессов медико-профилактического назначения;

- оздоровительной и профессионально ориентированной спортивной подготовки;

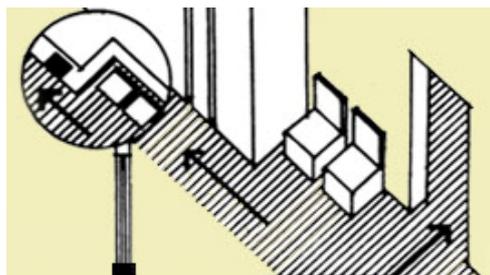
- психопрофилактического назначения;

- социо-культурной подготовки.

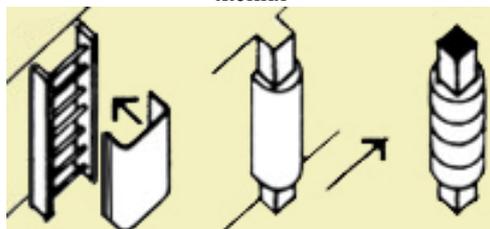
Анализ условий труда шахтёров позволяет говорить о необходимости создания специальной архитектурной среды в зданиях и комплексах для полного восстановления здоровья шахтёров. Эта архитектурная среда должна способствовать эффективному решению оздоровительно-профилактических задач, формированию устойчивости к действию факторов риска, развитию производственно-значимых качеств и навыков. Речь идёт не только о включении в структуру курортно-оздоровительных комплексов для шахтёров группы специализированных оздоровительно-профилактических процессов. Решению задач компенсации неблагоприятного воздействия условий труда на организм шахтёров должны способ-

ствовать: параметры помещений, мебель, оборудование, физико-гигиенические режимы, световая среда, отделка, объёмно-планировочные решения, а также планировка, благоустройство, озеленение территории объектов курортно-оздоровительного назначения и пр.

Особенности производственной адаптации горняков подземной группы (антропо-эргономические, физиологические, социально-психологические, социальные) диктуют требования к АПО курортно-оздоровительных комплексов на всех уровнях. Уровень *организация участка*: удлинение маршрутов перемещений в рекреационной зоне, защита от сквозняков, пыли, использование биологической ценности элементов озеленения. Уровень *объёмно-пространственная и функциональная организация зданий и помещений*: связь внутренней и внешней среды, расширение и увеличение пространства помещений, размещение жилых ячеек для горняков в структуре зданий с учётом их медико-биологической дифференциации, а также, в зависимости от этого, максимальное сокращение или увеличение длины маршрутов передвижения по горизонтальным и вертикальным коммуникациям, создание условий для межличностных контактов. В помещениях: исключение встречных потоков посетителей, исключение риска механического воздействия на коленные и локтевые суставы, предупреждение передачи грибковых заболеваний (рис. 1). *Физико-гигиенический уровень*: увеличение нормы подачи воздуха в помещения на 50% при пассивных, 150% - при активных процессах, учёт биологической ценности растительности, увеличение исходной температуры воздуха на 1% при влажности 50%, устранение потенциальных источников ослепления. *Мебель* должна обеспечивать правильное положение позвоночника, исключать риск охлаждения и инфекционных заболеваний на костно-мышечную систему и кожу шахтёров. Уровень *композиционно-художественной организации*: должен основываться на освоении образов психологически значимых объектов шахтной среды с учётом их значения для активизации либо расслабления, а также коррекции восприятия информации. Для этого предложены принципы и приёмы: выявление тектоники взаимопротекания надземного и подземного пространств, особенностей производственного антропоморфизма и геоморфизма.



Устранение постоянных препятствий на пути движения



Устранение или экранирование выступающих элементов

Рисунок 1. Вариант решения объёмно-планировочных элементов курортно-оздоровительного комплекса для шахтёров с учётом их производственной адаптации

#### Выводы:

1. Актуальность совершенствования АПО курортно-оздоровительных комплексов определяется высоким уровнем профессиональной заболеваемости и травматизма шахтёров, упрощением системы их медико-профилактической подготовки на современном этапе развития отрасли.

2. Выявлены и проанализированы предпосылки АПО учреждений курортно-оздоровительного профиля, которые позволили сформулировать основные требования к зданиям данной категории.

#### Список использованной литературы.

1. Гайворонский Е. А. Архитектурно-планировочная организация комплексов оздоровительно-профилактического назначения на предприятиях угледобывающей промышленности (на примере угольных шахт Донбасса): Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. арх. - М., 1992. - 24 с.
2. Україна у цифрах" 2006 -2007: Статистичний довідник / Державний комітет статистики України. - К.: ВД «Консультант», 2008. - 260 с.

## РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Зуев А.В.

Научный руководитель: Кухта М.С, д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [zuevandrew@mail.ru](mailto:zuevandrew@mail.ru)

Формообразование предметной среды, среды окружения, рабочего пространства или интерфейсов является главной задачей такого процесса как «дизайн».

При этом, «дизайн» - широкий термин, который обладает, по крайней мере, двумя группами значений. К первой группе относятся результаты одного из видов человеческой деятельности: интеллектуальной, творческой, чисто технической или объединяющий эти группы деятельности человека [6].

Первая группа включает в себя такие понятия как: замысел, план, намерение, цель, проект, рисунок, эскиз, композиция, умысел.

Вторая группа значений определяет слово «дизайн» как процесс создания, проектирования: предначертать, проектировать, конструировать, рисовать, изображать, делать эскизы.

Таким образом, формообразование является логической совокупностью понятий обеих групп, выражающей процесс становления и созидания формы [4]: проектированием оригинальных изделий (объектов графического и средового дизайна, в том числе), удовлетворяющих техническим, эстетическим, эргономическим и экологическим требованиям.

В итоге, все, что создается, конструируется, проектируется, ставит своей целью формирование комфортной среды обитания человека. Дизайн создается не ради «украшательства» - узкого понимания дизайна, а ради человека, ради оптимизации среды его обитания, среды, в которой он взаимодействует с объектами дизайна [7].

Возможность создания изделий, удовлетворяющих одновременно всем вышеперечисленным условиям, появилась относительно недавно; причиной тому стало стремительное развитие науки, техники и технологий.

Если говорить о материалах, прогресс и непрерывные войны стимулировали появление новых материалов, отличающихся лучшей обрабатываемостью, прочностью и пластичностью [7]. Сейчас в арсенале современных дизайнеров огромное количество доступных материалов, каждый из которых имеет свои индивидуальные технические и эстетические характеристики: полимеры, керамика, стекла, сплавы, nano-материалы.

Развитие дизайна в значительной мере обязано металлам. Если бы их не было, то сегодня человек был бы лишен зданий, водопровода, линий электропередач, всех видов наземного, морского и воздушного транспорта, он не смог бы подняться в космос [3]. Процесс художественного проектирования, в свою очередь, представляет собой преоб-

разование одной формы материи или знания в другую, более совершенную, обладающую новыми свойствами. Оператором преобразования, в данном случае является технология, определяющая фактуру, форму, геометрические размеры будущего изделия. То, как изделие будет получено (ковкой, литьем, штамповкой, резкой, фрезерованием или благодаря ручным операциям) будет определяться на основе выбора материала и типа изделия. Данная статья будет посвящена современным методам художественной обработки, конкретно, металлов, в частности, технологии плазменной резки. Такой тип резки позволяет обрабатывать не только конструкционные материалы, но и практически любые сплавы. Суть процесса плазменной резки заключается в следующем: между электродом и металлом, который режется, или между электродом и соплом установки зажигается электрическая дуга. Этот процесс осуществляется при помощи короткого замыкания или высокочастотного импульса, проходящего между металлом и форсункой. Дуга превращает газ, который подается в сопло под большим давлением, в струю плазмы. Ее температура может достигать 30000°C, а скорость струи – 1500 м/с. Плазменная резка обладает существенными достоинствами:

1. обрабатываются любые металлы — черные, цветные, тугоплавкие сплавы и т. д;
2. скорость резания малых и средних толщин в несколько раз выше скорости газопламенной резки;
3. небольшой и локальный нагрев разрезаемой заготовки, исключаящий ее тепловую деформацию;
4. высокая чистота и качество поверхности разреза;
5. отсутствие ограничений по геометрической форме изделий (рис.1) [8].



Рис. 1. Пример изделия выполненного по технологии плазменной резки

Дизайнерское проектирование – это элемент комплексного процесса проектирования промышленной продукции. При этом, на современном этапе технического и экономического прогресса и экологической обстановки в мире огромное значение имеет не только использование экологически чистых материалов и производств, но и оптимизация и ресурсоэффективное использование конст-

рукционных материалов. Планирование использования материала и выбор способа изготовления должно осуществляться еще на этапе проектирования для обеспечения рационального использования средств и высокотехнологичного оборудования. Отсюда возникает необходимость в определении принципов формообразования изделий, в данном случае, из листового металла, обеспечивающих безотходное производство (плазменная или лазерная резка). В таком случае задача повышения ресурсоэффективности будет сводиться к:

1. разработке ПО для рационального размещения контуров и раскроя будущих изделий на листе материал;

2. разработке методики создания эскизов художественных металлоконструкций с учетом вариативности использования контуров.

Поиск рационального плана раскроя материала является одной из насущных задач любого производства. В машиностроении при раскрое листового материала и при большом разнообразии видов заготовок применяется прямоугольный и фигурный раскрой [1].

В 2005 году Макаручк, А. В. была решена первая из поставленных задач в диссертационной работе «Исследование и разработка математического и программного обеспечения подсистемы САПР рационального раскроя листового материала при лазерной резке» (тот же принцип допустим и для плазменной резки). Результатом работы стала разработка инструментария проектировщика в виде подсистемы САПР раскроя листового материала [9]. Но какова тогда роль дизайнера в этом процессе, когда машина лишь экономно распределяет контуры типовых деталей на листе? Совмещая творческий подход и возможности современных САПР, можно добиться не только большей экономии материальных и временных ресурсов, но и уникальных дизайнерских решений, то есть, фактически, решать вторую задачу: разрабатывать такие изделия, отходная часть которых при плазменной резке, являлась бы при этом готовыми другими изделиями.

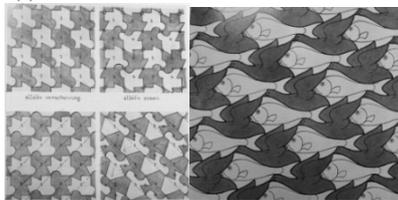


Рис.2. Работы Эшера [5]

К истокам такого сложного формообразования, в какой-то мере, можно поставить работы нидерландского художника-графика Маурица Корнелиса Эшера, (рис.2) основанных на всевозможных разбиениях плоскости и закономерностях трехмерного пространства.

Перетекание и вписывание одного объекта в другой, отточенные Эшером до мастерства отражают именно тот принцип, соблюдение которого

обеспечивает ресурсоэффективное формообразование при переносе идей такого рода с листа бумаги на лист стали, например. И теперь уже, на лицо творческий подход, подкрепленный математическим аппаратом и системами автоматизированного проектирования. При этом, возможно создание не только разных изделий, формы которых вписаны друг в друга, но и сложных «монолитных» (рис. 3).



Рис.3. Декоративная решетка «осеан» (эскиз автора)

На рисунке 3 представлен пример авторской разработки декоративной решетки «осеан» для аквапарка или океанариума, принципиально состоящей из двух частей: медуз (нижняя часть) и дельфинов (верхняя часть). Возможно два варианта реализации данной концепции: обе части в совокупности образуют цельную ограду, либо существуют по-отдельности. В последнем случае дельфины могут выполнять роль декоративного бордюра, например на дверях, стенах или потолке помещений, в ключе морской тематики.

Таким образом, определяя общую стилистику и состав будущего изделия, требуется создать особую компоновку его составляющих, что как раз, в сочетании с использованием современного программного обеспечения рациональное использование материала.

#### Список литературы:

1. Бабаев Ф.В. Рациональный раскрой листа на детали сложных геометрических конфигураций в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. Сварочное производство, 1967, №1, с. 12-14.
2. Бегенау З.Г. Функция, форма, качество: пер. с нем./З.Г.Бегенау; под ред. Г.Б. Минервина.- М.: Мир, 1969.
3. Беккер М. Мир металла - М., 1980.
4. Дизайн. Материалы. Технологии: Энциклопедический словарь / Под ред. Куманина В.И., Кухта М.С.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.
5. Магия М.К. Эшера – М.: Арт-родник, 2007
6. Мюллер В.К. Англо-русский словарь. – М.: Гос. изд-во иностранных и национальных словарей, 1963.
7. Соколова М.Л. Металлы в дизайне: Науч.изд. – 2-е изд. доп. – М.: МИСИС, 2003.
8. [www.autowelding.ru](http://www.autowelding.ru)
9. [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com)

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ В БАРОККО И НЕОБАРОККО

Ионова И.А., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [irina2.92@mail.ru](mailto:irina2.92@mail.ru)

Данная статья посвящена исследованию причин появления барокко и необарокко. Уделено внимание их отличительным особенностям. Определены условия для расширения возможностей формообразования.

Барокко - стиль в искусстве, развивавшийся в европейских странах в XVI-XVII (в некоторых странах - до середины XVIIIв.). Название происходит от итальянского *barocco* - причудливый, странный. Многие ругали барокко, многим оно казалось слишком вычурным, но постепенно барокко становится популярным. Барокко, можно сказать, раскрепостил общество. Если в эпоху Возрождения искусство воспевало мощь и красоту человека, то на рубеже XVI-XVII веков эти идеи уступили место размышлениям о сложности и несовершенстве общественных отношений, мыслям о разединенности людей. Поэтому главной задачей искусства стало отражение внутреннего мира человека, раскрытие его чувств, переживаний. Так определились основные черты: склонность к заостренным контрастам, динамичность, экспрессия, тяготение к пышности и декоративности.

Юлия Морозова [1] сравнивает эпоху барокко с этапом жизни человека, а именно с подростковым периодом. «И как юность за экзотичностью и яркими красками внешнего вида прячет свою неуверенность и растерянность, так и человек эпохи барокко за буйством и пышностью форм, карнавалами, театральными масками и строгостью церемониала прятал свою ранимую, мятушуюся душу, искал утраченную гармонию и согласие, стремился вновь обрести Бога в своем сердце». С конца XVI до начала XVIII века Западная Европа переживает один из интенсивных и одновременно драматических периодов своей истории. Таким образом, стиль барокко – это полное отражение настроения человека того времени, отражение запутанности, непонимания. Этим можно объяснить орнаментику стиля, насыщенную элементами. В барокко большое применение нашли растительный, символический и геометрический орнаменты.

В изделиях, изготовленных в этом стиле, сложно найти прямые линии и лаконичные черты. Лаконичность – свойство, не применимое к барокко. В барокко замысловатость, контрастность, повышенная эмоциональность отодвигают на второй план строгость, симметричность и прямолинейность форм стиля эпохи Возрождения. Зародившись в конце XVI века, барокко, в сущности, было прямым, естественным продолжением ренессансного стиля [2]. Поэтому можно найти элементы ренессанса в барокко, это такие элементы, как листья аканта, аканфовый завиток.

Много мотивов растительного происхождения в барокко. Также популярный элемент это С- и S-

валюта. Криволинейные поверхности (падуги), изображения полуразвернутых свитков (картуши), сочетания свитков со всевозможными завитками и гротесками (ормушль), изогнутые листья и причудливые цветы – вот характерные элементы барочного орнамента.

Главное, что отличает барокко, - это повышенная динамичность форм, беспокойный ритм кривых линий. Одной из характерных особенностей этого стиля является обилие кованых, резных и лепных украшений. Изготовление кованых изделий получило название художественнойковки [2]. Кованые решетки, калитки, кованые ворота, созданные в стиле барокко совершенно не похожи на защитные ограждения. Эти изделия больше подходят на художественное полотно. Конечный результат зависел от мастерства и таланта кузнеца. Далеко не каждый мастер мог продумать рисунок изделия, поэтому часто кузнецы работали в тандеме с архитекторами и художниками-декораторами. Причудливая пышность стиля хорошо легла на русские традиции древорезного искусства. Резьба по дереву в стиле «барокко» имеет ряд характерных особенностей [3]. Она обычно является скульптурной или объемно-рельефной, выполняется из массива дерева (а не доски), может иметь как сквозной орнамент, так и глухой. Прямых линий орнаменты практически не содержат, как и плоских поверхностей. В работе обычно используется не только ручной инструмент (различного рода резцы, стамески, долота, сверла, ножи и так далее), но и ручной механизированный инструмент. Материалом для обработки в данном стиле чаще всего служат твердые породы дерева, достаточно долговечные и прочные – дуб, бук, часто черное дерево.

Деревянными резными изделиями изобилует архитектура Томска. Здесь стиль барокко имеет своеобразное выражение, почему иногда говорят о томском барокко, как об отдельной ветви стиля. Следует отметить, что изначально для изготовления предметов в стиле барокко применялись ручные технологии, позже задействуются машинные. Расширяется машинное производство, начинают применять новые материалы, более лёгкие в обработке. Сегодня надо говорить уже не о барокко, а о необарокко, который приобрёл новые черты по сравнению с барокко.

Сейчас для общества характерны такие процессы, которые направлены на упрощение, сокращение времени и средств. Можно наблюдать упрощение в стиле необарокко. Во-первых, в необарокко широко применяются современные материалы: пластик, пенополистирол, композиты. Для барокко же больше характерны металлические элементы. Отсюда видно упрощение, т.к. неметал-

лические материалы более просты в обработке. Во-вторых, для обработки применяют современное оборудование. В барокко же широко использовалась ручная художественнаяковка и ручная резьба по дереву, что требовало больших трудозатрат. В-третьих, можно заметить некоторое различие в цветовой гамме. В неobarokko эффект пышности достигается также за счёт игры контрастности цвета. В барокко не наблюдается такого контраста.

Таблица. Различия барокко и неobarokko

Параметр	Барокко	Неobarokko
Материалы	Металл, дерево	Металл, дерево, пластик
Цвет	Золотой доминирует	Контраст в цветах
Технология	Ковка, литье, склеивание	Ковка, литьё, штамповка, сварка, полиграфия
Механизация	Ручной труд	Механизация, автоматизация
Орнаменты	Геометрический, растительный, символический	
Строгость соответствия стилю	Высокий процент соответствия	Наличие элементов из других стилей

Возникает только вопрос: почему сейчас снова барокко, правда в некоем новом качестве, становится популярным?

Человек по своей природе стремится к разнообразию, а стиль барокко расширяет возможности дизайнера при образовании форм предметов. Стиль барокко вырос из ренессанса, отрицая его аскетизм и прямолинейность форм. Снятие этих ограничений освобождает дизайнера в его творчестве форм. Одновременно эта свобода создаёт условия для пышности, и даже помпезности. Заказчик, приобретая предметы с пышными формами, подтверждает свой высокий статус.

Ренессанс. Его отрицание произошло через принятие барокко. Ренессанс провозглашал идеи гуманизма. Но именно эти идеи не проводились в жизнь правящим классом. Фактически оставалась лишь форма вещей, создаваемых в рамках стиля ренессанс, которые и потреблялись. Атмосфера в обществе в эпоху ренессанса была фактически криминальной [4]. Это и было основной причиной для смены стиля ренессанс на барокко.

Именно стремление всех людей к разнообразию, а богатых заказчиков – к пышности, явились причиной появления барокко из ренессанса как отрицание его аскетизма и прямолинейности

форм. Эти же два стремления людей явились причиной появления неobarokko как отрицание аскетизма форм новых стилей, таких как, например хай-тек или минимализм.

Сейчас, при использовании новых технологий изготовление предметов интерьера или экстерьера стало более доступным. Также можно заметить, что неobarokko допускает больше включений элементов из других стилей. В Томске, например, есть целый ряд зданий в стиле барокко, а вот, в неobarokko найти здание оказалось сложной задачей. Есть некоторые здания, которые по некоторым признакам подходят к неobarokko, но чёткой уверенности, как в случае с барокко нет.

В настоящее время сложно найти интерьер либо экстерьер с чертами только неobarokko. Обычно это гармоничное сочетание элементов разных стилей с преобладанием данного. Сегодня следует говорить о единовременном течении всех стилей, рассматривать их совместное развитие и влияние друг на друга. Стиль - это не математическое понятие, и для него нельзя чётко установить «область допустимых значений».

Сейчас можно говорить, что происходит только стилизация барокко, что называют новым барокко. Под стилизацией понимается намеренная имитация художественного стиля, характерного для какого-либо автора, жанра, течения, для искусства и культуры определенной социальной среды, народности, эпохи [5]. Нередко связана с переосмыслением художественного содержания, составляющего основу имитируемого стиля. Поэтому стилизация в настоящее время – это спекуляция на узнаваемости, поэтому сейчас из барокко заимствована только форма, только художественная составляющая.

Цельность стиля возможна при соответствии его эпохе, которая также должна удовлетворять понятию цельности, т.е. завершенности в плане соблюдения провозглашённых принципов.

В барокко форму диктовала духовность, а в неobarokko диктует технология.

#### Список литературы:

1. Ю.Морозова. Незнакомое барокко//Новый Акрополь. Человек без границ, №2 2005 г.
2. <http://mikhalkovich.narod.ru/kyrs/Cvetovedenie/boroko.htm>
3. <http://www.skiatsu.ru/barokko>
4. Уоллэйс Роберт. Мир Леонардо. 1452-1519 / Пер. с англ. М.Карасёвой. – М.: ТЕРРА, 1997. 192 с.
5. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1979.

## ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ УКРАШЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ ГЛИНЫ

Ковалева С.Д.

Научный руководитель: Кухта М.С.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [iacosta@sibmail.com](mailto:iacosta@sibmail.com)

В отличие от традиционных материалов, таких как стекло, керамика или дерево, которые использовались веками или даже тысячелетиями, история полимерной глины насчитывает всего лишь несколько десятков лет.

Кукольный мастер Фифи Реббиндер разработала и выпустила глину, предназначенную для изготовления голов кукол, которую назвала Фифи Мозаик. В 1964 году формулу этой глины купил владелец фабрики по производству карандашей из Нюрнберга Эберхард Фабер, и спустя два года началось ее массовое производство под всемирно известной в настоящее время торговой маркой ФИМО (Fimo – сокращенно от Fifi'sMOdelingCompound). Начиная с 70-х годов, полимерная глина Фимо начала импортироваться в Америку. Сейчас фабрика производит более 50 цветов пластики ФИМО, а также множество других материалов для хобби и творчества. К тому же в наше время существует множество фирм, выпускающих полимерную глину.

Сначала для производства изделий из пластика применялись природные материалы, а позже, с развитием химической науки, промышленность перешла к производству изделий из полностью синтезированных молекул. В современном производстве наиболее распространён такой вид пластика, как поливинилхлорид (ПВХ).

Полимерные глины выпускают как бесцветными, так и предварительно окрашенными. У различных производителей существуют линейки полимерных глин со специальными эффектами: металлик, полупрозрачный, блестящий, цвет камня, светящийся в темноте. Некоторые производители изготавливают также жидкую полимерную глину.

Для того чтобы создать свое собственное ювелирное изделие из пластика, нужно придать ей мягкость и эластичность. Обычно полимерную глину разминают руками, но для достижения лучшего эффекта используют паста-машину. Пластик выпускают в различных цветовых гаммах, поэтому при ее смешивании можно получить любой цвет или оттенок для ювелирного изделия. Чтобы сделать какое-либо уже затвердевшее изделие более интересным и необычным, его покрывают акриловыми, масляными или акварельными красками.

Полимерная глина – это материал, для многих который стал средством создания различных художественных эффектов, средством имитации разнообразных материалов и поверхностей таких, как стекло, дерево, керамика, поделочные камни и т.д. Для создания ювелирных изделий из пластика применяются множество техник, с помощью которых можно добиться необычных результатов.

Техники в работе с полимерной глиной:

### Акварель.

Техника "Акварель" - это техника, в которой на обязательно однотонный слой пластики кладется любой другой слой. После чего они плотно соединяются, и получившийся пласт рвется на мелкие беспорядочные кусочки, которые хаотично накладываются на бусину и прикатываются к ней (см. рис.1).



Рисунок 1

### Сане.

Техника, в которой из разноцветной пластики по всей длине, так называемой колбасы, формируется рисунок. Получившийся цилиндр ужимают (вытягивают) до нужной толщины, и на каждом срезе сохраняется одинаковый рисунок (см. рис. 2).

### Калейдоскоп.

Калейдоскоп - разновидность техники «Сане». Рисунок складывается таким образом, что напоминает виды в калейдоскопе.

### BrainCane.

Braincane (мозговая трость/колбаса) - разновидность техники «Сане». Рисунок складывается таким образом, что напоминает переплетение извилин мозга.



Рисунок 2

### Работа с поталью.

Поталь - тончайшие листы или полоски - имитация золота/серебра/меди.

### Мика-шифт.

Техника, в которой используется пластика-металлик со специальным эффектом - мельчайшими мика-частицами. На тщательно тантый в одном направлении слой пластики накладывается штамп, либо вдавливается рисунок любыми средствами, после чего верхний слой аккуратно срезается лезвием до достижения ровной поверхности. При этом на заготовке образуется иллюзия рельефа (см. рис. 3).



Рисунок 3

### Имитация натуральных камней и кости.

Достигается с помощью различных техник и комбинаций цветов.

### Работа с пудрами.

Покрытие поверхности сырой пластики различными видами пудр для создания эффекта мерцания.

### Жидкая пластика.

С помощью жидкого пластик создается эффект жидких элементов (вода, крем и т.д.), эффект стеклянных элементов, осуществляется перевод рисунка на пластику.

### Чечевички.

Техника, в которой с помощью специальных крутящих движений одним стёклышком осуществляется влияние на сформированную разноцветную бусину из пластики, лежащую на другом стекле.

### Использование штампов.

Штампы используются для придания пластике текстуры/рельефа, возможно последующее заполнение краской появившихся от штампа "вдавленностей" для создания определенного эффекта, штампы также используются для техники «Мика-шифт» (см. рис. 4).



Рисунок 4

### Полупрозрачная пластика.

Применяется для создания эффекта многослойности, прозрачности, стекла.

### Мокуме Гане.

Техника, заключающаяся в составлении композиции из двух или более разноцветных слоев пластики, которые накладываются друг на друга, далее сквозь все слои различными формами и подручными инструментами продавливается хаотичный рисунок, потом заготовка сжимается так, чтобы убраться отверстия, и с полученной заготовки делаются срезы, которые в дальнейшем используются для различных изделий (см.рис. 5).



Рисунок 5

### Филигрань.

Техника, в которой для изготовления объемного рисунка на заготовке используются тоненькие

"нити" и другие миниатюрные формы (шарики, цветочки) из пластики.

### Соляная техника.

Соляная (сахарная) техника - придание текстуры бусинам/заготовкам с помощью соли или сахара с последующим вымыванием вышеназванных из бусин/заготовок.

### Перевод рисунка.

Существуют различные способы перевода рисунка с бумаги на пластику.

### Куклы и миниатюра.

Куклы изготавливаются без применения особых техник, для этого нужны способности в области скульптуры.

Миниатюра - техника, в которой большие предметы воплощаются из пластики в маленьких размерах. Именно в этой технике создаются укра-



Рисунок 6. Бусы и серьги «Мыши и сыр». Выполнила Ковалева С.Д.

шения-лакомства в виде кондитерских изделий, фастфуда, фруктов и т.д. Так же из полимерной глины создаются миниатюрные животные, меты быта, одежда и т.д. (см. рис.6, 7).



Рисунок 7. Серьги «Суши». Выполнила Ковалева С.Д.

### Список используемых сайтов:

1. <http://www.magic-beads.ru>
2. <http://www.mybijou.ru>
3. <http://stranahandmade.net>
4. <http://masterya-rukodeliya.ru>

## ЭТНО-ДИЗАЙН ДЕКОРАТИВНЫХ ПАННО

Кокарева Д.Ю.

Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [darya.kokareva@mail.ru](mailto:darya.kokareva@mail.ru)

Рассматривая палитру современных стилей невозможно не остановиться на одном из самых загадочных и мистических как этнический стиль. Он подразумевает создание обстановки с использованием национального колорита, характерного для той или иной культуры. Африканский стиль считается одним из самых экзотических. Африка – природный минимализм, простые формы. Таинство и знаков и образов африканской культуры привлекают к себе немалую аудиторию людей.

Данный проект включает в себя изготовление трёх вариантов декоративных панно. Каждый из них разработан на основе образов африканской культуры. Общими характеристиками произведений африканского искусства являются: сильный, драматический экспрессионизм, отсутствие натурализма и острые, угловатые формы. [1] За основу первых двух вариантов были взяты образы ритуальных масок различных Африканских племён. Смысл их всегда магический. Маски не только отражали содержание местных верований; они были необходимой принадлежностью секретных обществ родовой знати, своего рода мужских клубов, деятельность которых носила в значительной мере культовый характер.

Маски разных Африканских племён и этнических групп отличаются друг от друга и их невозможно спутать. Так например маски племени Фанг, взятые мной за основу образов. Фанг (пангве, пауин) - крупная народность, включающая племена булу, яунде, нгумба, этой, мваи, нтумун и собственно фанг. Основными предметами искусства у данного племени являются статуэтки и маски. Считается, что маски фангов в художественном отношении значительно уступают их круглой скульптуре (Рис.1). Действительно, в них не только заметна эклектичность, но так же, как правило, отсутствует тщательность, законченность исполнения. [2] (Рис.2)



Рис.1. Маски племени Фанг.



Рис.2. Биери, статуэтка. Дерево. Фанг, Габон. Собрание Гарвардского университета

Несмотря на это, маски данной этнической группы привлекают своей вытянутой формой и позволяют, дополнив их орнаментом, создать неповторимую атмосферу континента. (рис.3, рис.4)



Рис.3. Декоративное панно «Лики Солнца»



Рис.4 Декоративное панно «Вождь»

Для третьего варианта (рис.7) за основу взят образ черепахи, а конкретно панциря в сочетании с

масками племени Лигби. Маски данного племени отличаются элегантностью формы а так же обрамлением дополнительными элементами, так называемыми «крыльями». (Рис.5)



Рис.5 Одна из масок племени Лигби.

Черепаша обычно считается женским, лунным и водным знаком, однако ее часто связывали и с мужской плодовитостью. Она считается защитным талисманом, по причине того, что очень распространена как домашнее животное. Черепаша является символом неторопливости, невозмутимости и долголетия. К тому же, Земля в африканской мифологии изображается в образе черепахи. Её внешний облик и окрас придавал ей сходство с землей, почвой.[3] (Рис.6)



Рис.6 Изображение черепахи



Рис.7 Декоративное панно «Черепаша»

Анализ композиций панно, представленных на рис. 3, 4 и 7 раскрывает особенности создания художественного образа. Панно «Лики Солнца» и «Вождь» являются асимметричными композициями с выраженной доминантой. Панно «Черепаша» представлена уравновешенной симметричной композицией, в центре которой расположено стилизованное изображение черепахи.

Все панно могут быть рекомендованы как композиции ансамбля для создания интерьеров в этно-стиле.

Все изделия выполнены из металла с помощью плазменной резки на станке OXYCUT 6001.20 G. Данный станок позволяет обрабатывать практически любые металлы и сплавы, его скорость резания выше чем у газоплазменной резки. В связи с небольшим нагревом не возникает никакой деформации и структура металла остаётся неизменной. Качество обрабатываемой поверхности очень высокое, к тому же данный станок позволяет создавать самые сложные формы и орнаменты.

В заключении отметим, что образ Африканской маски, так широко распространённый сегодня, нуждается в новом воплощении. Уход от традиционного материала, дерева, сочетание различных элементов масок, игра с формами, всё это помогает разнообразить восприятие культуры Африки.

#### Список литературы:

1. [www.novosibdom.ru](http://www.novosibdom.ru)
2. Мириманов В.Б. Искусство тропической Африки. – Москва: Искусство, 1986
3. <http://astrovic.ru>

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ТКАНИ

Крайняя Р.Г.

Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30  
E-mail: [reginochka15@mail.ru](mailto:reginochka15@mail.ru)

В настоящее время актуальной становится необходимость производства и использования металлизированных текстильных материалов. Произведенный по уникальной технологии текстиль приобретает металлический блеск, сохраняя при этом способность пропускать воздух и влагу. Внедрение высокотехнологичных научных разработок подобного типа открывает для декораторов новые возможности для создания все более уникальных изделий, поэтому цель данной работы – представить изделие, которое в полной мере могло бы показать все преимущества указанного метода.

Уникальность такой ткани кроется в ее поверхности, покрытие которой было изготовлено методом магнетронного распыления в г. Иваново (Россия). Под руководством заведующего лабораторией ионно-плазменных процессов Ивановского государственного химико-технологического университета, кандидата технических наук – Горберга Бориса Львовича был разработан метод подобного распыления, применявшийся ранее в микроэлектронике, но не использовавшийся в текстильной промышленности.

Метод основан на использовании аномального тлеющего разряда в инертном газе с наложением на него кольцеобразной зоны скрещенных неоднородных электрического и магнитного полей, локализующих и стабилизирующих газоразрядную плазму в прикатодной области. Положительные ионы, образующиеся в разряде, ускоряются в направлении катода, бомбардируют его поверхность в зоне эрозии, выбивая из нее частицы металла. Покидающие поверхность мишени частицы осаждаются в виде пленки на подложке (ткани). Высокая кинетическая энергия частиц обеспечивает хороший уровень адгезии образующейся пленки к подложке. Метод магнетронного распыления реализуется в глубоком вакууме – порядка  $5 \cdot 10^{-5}$  мм ртутного столба.

Используя такой метод, на подложку можно наносить тонкие пленки алюминия, меди, латуни, бронзы, серебра, титана, нержавеющей стали и других металлов или их сплавов, а также соединения некоторых металлов с кислородом или азотом. Например, нитрид титана, получая окрашенную «под золото» или с перламутровой поверхностью ткань.

Поскольку обработка тканей происходит в мягких условиях так называемой низкотемпературной плазмы, то ткань сохраняет мягкий гриф, воздухо- и влагопроницаемость, драпируемость, прочностные характеристики. Напыление слоя металла приводит к появлению у ткани электрической проводимости. Проводимость придает синте-

тическим тканям или нетканым материалам антистатические свойства.



Рис 1. Металлизированный шелк

Следует добавить, что магнетронный способ напыления является достаточно экономичным. При определенных параметрах обработки возможно нанесение сверхмалых количеств металлов, например, при напылении дорогостоящего серебра, небольшое количество которого может придавать материалам еще и бактерицидные свойства или металлов платиновой группы, используемых в качестве катализаторов.

Особенно необходимо отметить тот факт, что данный способ практически не загрязняет окружающую среду, так как отсутствует необходимость в использовании каких-либо химических материалов. Установка оборудования не требует наличия специальных инженерных коммуникаций: станций очистки сточных вод, парогенераторов и паропроводов, химстанций. Все это позволяет использовать данное оборудование даже в условиях малых предприятий.

Металлизированный текстиль особенно широко применяется модельерами при пошиве одежды. Но нельзя исключать возможность применения такой ткани и при создании аксессуаров, и, хотя использование текстильных материалов в этой области декоративно-прикладного искусства не является нововведением, металлизированная ткань все же имеет существенные отличия. Изделие из такого текстиля повязанное как платок, для стороннего наблюдателя будет выглядеть именно металлическим. Выходит это «металл», который можно драпировать, причем произвольно изменяя в любой момент времени. К тому же есть возможность, не прибегая к ковке как при изготовлении ювелирного изделия, обогатить такую ткань, например, посредством вышивки. Стоит так же от-

метить, что ткань металлизированная методом магнетронного распыления имеет благородный металлический блеск и, при грамотном пошиве, будет являться достойным дополнением любого образа. Технология поистине революционна. К тому же, подобное ожерелье или лента в волосах не причинят никаких неудобств их владельцу, ведь по легкости эти предметы ничем не уступают ткани, из которой изготовлены.



Рис 2. Авторский эскиз ожерелья-платка на застежке, расшитого темными бусинами и стеклярусом. Лён, позолота.



Рис 3. Фрагмент эскиза. Пример вышивки.

Таким образом, мною было разработано изделие, основанное на использовании металлизированной ткани как одного из способов обработки материала.

#### Литература:

1. Материалы сайта предприятия изготовителя: <http://www.ivtechnomash.ru>
2. Модификация поверхности текстильных материалов/Б.Л. Горберг, А.А. Иванов, В.А. Стегнин //В мире оборудования, 2006,N N 8.-С.С. 14.

## ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Литвинов К.Ф.

Научный руководитель: Зыков И. Ю., к.ф.м.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [konstantinlitv@mail.ru](mailto:konstantinlitv@mail.ru)

Наземное лазерное сканирование - на сегодняшний день самый оперативный и производительный способ получения точной и наиболее полной информации о размерах и форме сканируемого объекта.

Съемка выполняется намного быстрее, чем любыми другими способами. Фасад здания главного корпуса «Томского Политехнического Университета» с интервалом через каждые 2 см, был отсканирован менее чем за 2 часа. При этом неважно насколько сложен объект съемки. Это может быть обычный фасад жилого дома, или фасад церкви с большим количеством лепнины, или дом в стиле модерн с барельефами, фронтонами и другими украшениями, или сложная развязка трубопроводов и т.д.

Результатом измерений является так называемое облако точек Рис. 1., состоящее из большого количества измеренных точек – от нескольких тысяч до нескольких миллиардов. В отличие от обычной фотографии мы получаем не плоское изображение сканируемого объекта, каждая точка имеет свои собственные координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Такое облако точек можно вращать, изменять масштаб, делать сечения и многое другое.

Прообразом сканера является тахеометр, с помощью которого измеряется горизонтальный и вертикальный углы и расстояние до объекта. С помощью тахеометра можно определить положение измеряемой точки в пространстве.

Отличие сканера от тахеометра состоит в решении задачи измерений. Тахеометр измеряет каждую отдельную точку. Как правило, требуется привести тахеометр на заданную позицию вручную и выполнить измерение. Сканер работает по принципу измерения всех точек на заданном участке, с плотностью определяемой пользователем. Сканеру задаются границы участка и плотность измерений или расстояние между соседними измерениями. Как правило, объект сканируется с нескольких точек.

Скорость измерения сканером в тысячи раз быстрее тахеометра. Современные сканеры способны измерять точки со скоростью от нескольких тысяч до 50000 и даже 250000 точек в секунду. [1]

При сканировании задается расстояние между соседними измерениями. Тем самым можно регулировать детализацию получаемой информации. Применение сканеров зависит от точности и диапазона измерений.



Рис.1. Облако точек фасада главного корпуса ТПУ

Проблема построения трехмерной модели объекта по результатам лазерного сканирования заключается в очень большом количестве получаемых точек, поэтому требуется предварительная фильтрация и варианты, позволяющие упростить создаваемую модель без потери точности. Это достаточно трудоемкая работа, занимающая большую часть времени. Процесс обработки результатов сканирования зависит от желаемого результата, от того, что конкретно мы хотим получить. Это может быть само облако точек, TIN - модель, набор сечений, план, сложная 3D-модель, либо просто набор измерений длины, периметра, диаметра, площади или объема. [2]

Процесс построения модели по результатам лазерного сканирования состоит из следующих этапов:

-Загрузка облака точек, сшивка сканов, удаление шумов, разрежение.

-Создание модели по обработанным точкам. Обрисовка контуров для построения чертежа, либо построение трехмерной модели объекта.

-Редактирование и оптимизация представления полученной модели.

Фасадная съёмка – это геодезическая съёмка поверхностей зданий и сооружений. Проведение фасадных съёмок даёт полное представление о внешнем архитектурно – планировочном решении здания или сооружения.

Результатом фасадной съемки главного корпуса ТПУ стал чертеж центральной части в масштабе 1:100 изображенный на Рис. 2. разных плоскостей фасада с отображением фактических размеров, различных элементов здания, сооружения, а также трехмерная электронная модель, изображенная на Рис. 3. Обмеры фасадов зданий, внутренних помещений, отдельных скульптурных элементов составляют значительную часть всего комплекса реконструкционных работ. Как правило, архитектурные обмеры зданий в условиях жизни современного города являются весьма трудоемким процессом, учитывая такие факторы как: плотная застройка, высокие здания, большое количество автотранспорта и др.



Рис.2. Чертеж главного корпуса ТПУ

В данной ситуации наиболее универсальным и эффективным методом является метод трехмерного лазерного сканирования, позволяющий не только существенно сократить сроки производства работ, но и при этом получить исчерпывающую информацию о геометрических параметрах объекта.

На практике 5-6 часов работы сканером, в среднем, равняется 5-30 полным рабочим дням измерений обычным тахеометром в зависимости от объекта.

Использование трехмерного лазерного сканера практически полностью исключает наличие человеческого фактора в погрешности измерений. Средняя точность измерений и построений находится в пределах 2-10 мм в зависимости от модели сканера и расстояния до сканируемого объекта.

Полученные данные могут храниться в виде снимков (сканов) неограниченное количество времени.

Преимущества лазерного сканирования:

1. Возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях.
2. Неразрушающий метод получения информации.
3. Высокая точность измерений.
4. Высокая производительность лазерного сканера сокращает время полевых работ.
5. Высокая степень детализации.
6. Принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов.

При помощи специализированного программного комплекса, полученные после сканирования точки, экспортируются в программу для проектировщиков AutoCAD, где происходит построение чертежей необходимых для дальнейшей работы.



Рис.3. Трехмерная модель центральной части главного корпуса ТПУ

Необходимые для работы данные могут быть получены в абсолютно любом месте фасада под абсолютно любым заданным углом. Высокая точность сканирования позволяет получить исчерпывающую информацию о геометрических параметрах объекта и детализированные чертежи любых архитектурных деталей фасада.

Как многие технические новшества и технологии, недавно вышедшие из лабораторий ученых, лазерное сканирование находится только в начале пути освоения разнообразных приложений. Но уже сейчас можно перечислить несколько технологических сфер, где сканеры применяются все более активно: реставрация и строительство, архитектура и археология, съемка мостов, тоннелей и других промышленных объектов.

**Литература:**

1. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование// Монография, - Новосибирск, 2009 –С.5-12
2. Зобнин М. Н. Построение поверхности по результатам лазерного сканирования// Статья,- М. 2006 – С.2-3

## ХИМИЧЕСКОЕ ГНУТЬЕ ДРЕВЕСИНЫ

Манаков В.Н.

Научный руководитель: Крауиньш Д.П., к.т.н, доцент.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

Великолепная венецианская мебель считалась предметом роскоши не только благодаря своей красоте, изящности, но и показывало уровень владения материалом мастера, который ее изготовил. Чтобы изготовить изогнутую, грациозную, но в тоже время прочную мебель требовалось доскональное знание свойств и структуры древесины, нюансов технологий.

В наше время для получения криволинейных поверхностей из древесины используются следующие технологии:

### 1. Пропильное гнутье.

Способ заключается в нанесении пропилов на обрезаец и последующем сгибании.

Достоинства данного способа:

- Простота.
- Доступность.
- Недостатки:
- Сгиб осуществляется только в сторону пропила.

Помимо данного способа еще используется способ выпиливания криволинейных заготовок, который отличается простотой технологии и не требует специального оборудования. Однако, при выпиливании неизбежно перерезаются волокна древесины, и это настолько ослабляет прочность, что детали большой кривизны и замкнутого контура, приходится составлять из нескольких элементов склеиванием. На криволинейных поверхностях получаются полоторцевые и торцевые поверхности срезов и в связи с этим ухудшаются условия обработки на фрезерных станках и отделки. Кроме того, при раскрое получается большое количество отходов. [1]

### 2. Гнутоклеенные детали.

В этом способе загибаемый массив состоит из ламелей шпона, толщиной 0,4-4 мм. Массив зажимается в шаблоне и выдерживается определенное время.

### 3. Гидротермическая обработка.

В данном методе технологический процесс гнутья древесины состоит из гидродинамической обработки, гнутья и сушки изогнутых деталей в шаблоне для стабилизации приданной формы. [1]

Достоинства:

- Гнутье возможно в любом направлении.
- Минимум отходов.

Недостатки:

- Небольшие радиусы изгиба.
- Пластичность зависит от гигроскопичности выбранной породы.
- Жесткие требования к поверхности и строению загибаемых заготовок.

### 4. Химический способ.

В начале 20 века данный способ был разработан Михаэлем Тонетом, который с помощью химической обработки получал изящные по своей форме гнутые предметы мебели и интерьера из древесины. Родившись в канун века девятнадцатого, Михаэль Тонет сумел предугадать потребности века двадцатого. Он первый в мире организовал промышленное производство мебели, обладавшей поистине высоким качеством. Являясь пионером создания очень многих конструкций и даже типов мебели, Тонет, однако, не является изобретателем способа гнутья пропаренной древесины как такового. Еще древние греки владели этим мастерством и гнули ножки своих кресел. В средние века секрет греков был частично раскрыт. Применялся этот способ и в XVII - XVIII веках. Был он известен и в России: русские мужики гнули из пропаренной древесины обода колес и дуги для лихих троек. Но никто и никогда не тиражировал мебельную продукцию из гнутой древесины такой прочности и красоты, как Тонет, гнутую с помощью химических реагентов. И здесь он безусловный новатор, хотя долгое время не мог запатентовать свой способ.

Эта технология казалась утерянной, но наш соотечественник Сычев М.В., сотрудник центра интерьерных материалов и член союза предприятий и работников мебельной и деревообрабатывающей промышленности, совместно со своими коллегами разгадал секрет великого мастера. [2]

Суть технологии заключается в выдерживании в химическом растворе куска древесины, который необходимо загнуть, после вымачивания, за счет ослабления водородных связей между волокнами древесины, кусок становится более пластичным, загибается и фиксируется на шаблоне, после сушки древесина приобретает заданную форму навсегда. Данные изделия показали высокие прочностные характеристики.

Поскольку формула Сычева держится в секрете, попробуем подобраться к разгадке метода.

Для размягчения древесины необходимо ослабить водородные связи между волокнами. Наилучшим реактивом, по мнению исследователей, пытающихся разгадать формулу, является перекись водорода. [3]

С этой целью были проведены два эксперимента, на образцах из осины, длиной 50 мм, с квадратом стороной 5 мм в сечении.

Данные образцы были помещены в 3% раствор перекиси водорода на 20 часов. После выдержки образцы были изъяты из раствора и загнуты.

Несмотря на то, что образцы разрушились при гнутье, произошло значительное их размягчение.

После данного эксперимента было решено провести следующий эксперимент, в котором использовался образец такой же длины, но с круглым сечением, диаметром 5 мм. Данное сечение позволяет избежать концентраторов напряжений, и предотвратить быстрое разрушение образцов. Концентрация раствора была повышена до 9 %, а время выдержки увеличено до 40 часов. При попытке загнуть, образец так же разрушился, но был замечен интересный факт. На срезе образца в середине имеется «сухая» область, не пропитанная раствором перекиси водорода (рис.1).

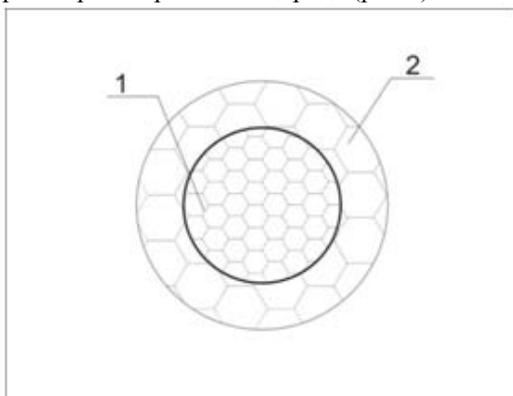


Рис. 1. Срез образца. Цифрами обозначены области.

1- Область, насыщенная раствором.

2- Область, непропитанная раствором.

То есть раствор доходит до определенного уровня в древесине и дальше насыщения не происходит. Это возможно по двум причинам:

1. Достигается предел насыщения образца раствором.
2. Снижается активность раствора на определенной глубине.

Чтобы проверить данные предположения в том же 9% растворе на 40 часов были замочены образцы из бука, 3x25 мм, длиной 60 мм, на 40 часов.

В результате эксперимента они не только пропитались насквозь, но легко изогнулись и приняли форму профиля (рис.2).

Иными словами эксперимент подтверждает причину не полного насыщения образца. Следовательно, необходимо повысить активность раствора. Как вариант возможно использовать повышение температуры. Это либо подогрев раствора перекиси водорода или использование химической реакции с выделением перекиси водорода и тепла. Так же возможно повышение концентрации перекиси водорода в растворе, но здесь стоит учитывать такой момент, что возможно ослабление связей настолько, что загибаемый образец древесины может попросту разойтись на отдельные куски.



Рис.1. Гнутые образцы из бука, полученные в результате третьего эксперимента.

В чем преимущества данного способа гнутья древесины:

1. Экономия ресурсов.
2. Получение гнутых изделий из древесины любой конфигурации и высокой прочности.

Данный способ получения криволинейных поверхностей является прорывом в области рационального использования древесины. Можно получить на основе гнутья массива не только качественную мебель в различных стилях, например в духе модерн, можно производить изделия для декора, который может заменить резную лепнину лепнину, или изготавливать неординарную мебель для офисов с различными накладками в стиле фирмы, или создать компактные, легкие разборные сани, по типу финских. Возможно использовать данную технологию для изготовления скульптур из дерева, в творческом плане возможности становятся практически неограниченными, поскольку дерево из материала, который обрабатывался ранее в большинстве своем резкой, становится сродни глине, которому можно придать любую форму, любое положение без риска его разрушить. Интересна так же возможность по использованию гнутой химически древесины в строительстве деревянных домов. Но в данном случае необходимы более глубокие исследования в области воздействия влаги, температурных перепадов на обработанную таким способом древесину, а так же более подробные механические опыты.

#### Список литературы:

1. «Технология изделий из древесины»  
Буглай Б. М. ,Гончаров Н. А. 1985
2. <http://drevesina.comhttp://forum.woodtools.ru>

## ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ БАРНОЙ СТОЙКИ

Мешкова Н.И., Серяков В.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [ninell@sibmail.com](mailto:ninell@sibmail.com)

Барная стойка – это активный и яркий элемент интерьера, который идеально вписывается в общий дизайн любого помещения. По самой распространенной версии первые барные стойки появились в XVIII веке в Северной Америке, где жили и живут признанные законодатели мод в барной культуре. Недаром в США имеется несколько институтов, изучающих и разрабатывающих различные концепции, дизайн и эргономику барных стоек, оборудование, ассортимент и многое другое. Изначально барные стойки были призваны разделить бар на две функциональные зоны: для посетителей и самого бармена. Они имели большое практическое значение: не только создавали функциональное пространство, где всё под рукой, но и защищали хрупкие сосуды с напитками и посуду от посетителей. Слово *bar* как глагол переводится «преграждать, запрещать, загромождать», а как существительное – «бар, преграда, стойка». В основном они представляли собой длинные, отделанные металлом или прочным деревом несложные конструкции.

Сейчас барные стойки являются необходимым и по современным стандартам обязательным атрибутом в общественных заведениях. Все чаще барную стойку можно увидеть в жилых помещениях, в основном ее устанавливают в целях экономии пространства или разграничения зоны.

Разработка концепции, идеи барной стойки, – важный этап в создании интерьера заведения, ведь именно она привлекает внимание и объединяет гостей будущего заведения. Она организует пространство, позволяет выразить индивидуальность и отразить концепцию заведения. Концепция бара формируется исходя из назначения заведения, целевой аудитории, дизайна интерьера. Существуют различные виды баров: безалкогольный бар, лаунж-бар, пул-бар, диско-бар, лобби-бар, сервис бар и каждому виду соответствует своя барная стойка, к которой предъявляются особые требования с учетом используемых материалов и конструкции.

Лаунж-бар (рис.1) – от англ. *lounge* – гостиная, комната для отдыха. Обычно он находится в особой изолированной лаунж-зоне, где можно спокойно отдохнуть. Чаще всего лаунж-бары оформляют в стиле *high-tech*, который предполагает использование стекла, пластика, пул-бар, металла, в оформлении помещения широко применяются цветные панели. Это позволяет создавать форму помещения, мебели и барной стойки, предлагать оригинальное освещение. Простота и лаконичность этого стиля не утомляет глаз, позволяет посетителю расслабиться, отдохнуть.



Рис.1 Лаунж-бар

Пул-бар (рис.2) – от англ. слово *pool* – бассейн. Располагается в зоне бассейна. Существует три варианта его размещения: бар в центре бассейна – самый эффектный, требует строительства тоннеля для перемещения персонала; двухуровневый бар на краю бассейна – для людей в воде и в «прибрежной зоне»; бар рядом с бассейном. Барная стойка изготавливается из материалов, выдерживающих контакт с водой. Для этого подходят практически все виды пластика. В цветовом оформлении предпочтение отдается «морским» оттенкам: синему и зеленому.



Рис.2 Пул-бар

Диско-бар (рис.3) обслуживает большой поток активных людей, предусмотрена рациональная организация рабочих мест. В оформлении диско-бара широко применяется разноцветная подсветка, самый популярный стиль стоек – *high-tech*. Важное требование к материалу барной стойки – особая прочность.



Рис.3 Диско-бар

Лобби-бар (рис.4) от англ. *lobby* – «вестибюль». Располагается на первом этаже гостиницы, недалеко от стойки администратора. Специфика расположения лобби-бара создает определенные преимущества в его оформлении и освещении: панорамные окна, принятые в холлах гостиниц, – это яркий декоративный элемент и естественное освещение большую часть суток. Лобби-бар должен поддерживать и подтверждать класс гостиницы, в которой находится.



Рис.4 Лобби-бар

Сервис-бар (рис.5) находится в гостевой зоне ресторана или кафе и необходим для выполнения заказов посетителей через официантов. Обычно обслуживающий бар не работает с гостями напрямую и не выделяется ни ярким оформлением, ни особенно выгодным расположением, главное требование к нему – функциональность.



Рис.5 Сервис-бар

Уделяя должное внимание конструкции, качеству материалов используемых для барной стойки, нельзя забывать о ее дизайне. Барная стойка организует пространство помещения, около нее собираются посетители, она содержит в себе все элементы декора, передающие концепцию помещения. Именно барная стойка задает стиль интерьеру. Стили барных стоек разнообразны: от классического до *high-tech*, и каждая стойка имеет свои особенности и принципы организации пространства, влияющие на выбор материала, конструкции, цветового решения, подсветку (табл.1). Сегодня при оформлении барной стойки предпочтение чаще отдается новым современным формам: мебель из технологичных материалов легко трансформируется, хорошо эксплуатируется, оригинально преобразуется с помощью декоративных и световых элементов. Однако классический дизайн также не утратил своей притягательной силы: строгая по дизайну стойка из массива дерева придает бару солидный, респектабельный вид. Материалы для изготовления стойки весьма разнообразны: ДСП, дерево, сталь, стекло, натуральный или искусственный камень, пластик.

Таблица 1. Основные стили и направления дизайна барных стоек

Стиль	Характеристика (особенности, мате-
-------	------------------------------------

	риалы, цвета)
<p><b>1. High-tech</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– использование высоких технологий в проектировании;</li> <li>– характер пространства формируется с помощью подсветки;</li> <li>– использование современных материалов (металл, стекло, пластик)</li> </ul>
<p><b>2. Классический</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– традиционность, изысканность и элегантность;</li> <li>– дерево или материалы, его имитирующие;</li> <li>– натуральные, природные, приглушенные цвета.</li> </ul>
<p><b>3. Кантри</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– «деревенский» стиль, простота, отсутствие вычурной декорации и, как следствие, высокая функциональность;</li> <li>– натуральные материалы – дерево, камень;</li> <li>– цвета мягкие, светлые.</li> </ul>

Современные стойки зачастую строятся по модульному принципу. Основные преимущества данного принципа:

- возможность создания конструкции самых различных конфигураций;
- осуществление сборки барных стоек своими силами;
- монтирование в нее самого разнообразного стационарного и нестационарного оборудования;
- облегченная транспортировка.

Модули выстраиваются так, что образуют три линии: переднюю (барный модуль), заднюю (присенный модуль) и верхний ярус (козырек) (рис.6).

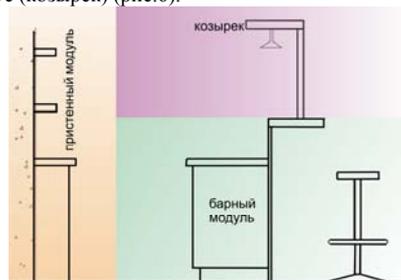


Рис.6 Три линии барной стойки.

Барный модуль в свою очередь делится на рабочую и гостевую столешницу, фасадную часть, а также рабочие ящики и отделения для встроенной техники. На внешнюю сторону стойки устанавливаются опоры под ноги и прочая металлическая фурнитура.

Присенный модуль состоит из двух отделений: в верхнем выставляются напитки, в нижние тумбы встраивают технику, хранят в них посуду.

В козырек устанавливается освещение, на него крепятся бокалодержатели, крючки для кружек.

Около барной стойки обычно ставят высокие барные стулья или табуреты. Дизайн стульев также должен соответствовать общему стилю заведения.

Барные стойки в зависимости от месторасположения бывают прямые, угловые и изогнутые под самыми необычными радиусами (табл.2). Задача одна: удобно вписать стойку в интерьер.

Таблица 2. Виды барных стоек в зависимости от месторасположения

Вид барной стойки	Характеристика
<p><b>1. Прямая</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– конструкция линейного исполнения;</li> <li>– отличается от других типов стоек отсутствием углов и заворотов;</li> <li>– считается наиболее удобной, позволяет размещать под ней огромное количество оборудования</li> </ul>
<p><b>2. Радиусная</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– собирается из нескольких элементов;</li> <li>– главным плюсом таких стоек выступают изящность и элегантность;</li> <li>– однако при установке необходимо расставлять грамотно другую мебель, а так же делить помещение на зоны</li> </ul>
<p><b>3. Угловая</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– решает такие проблемы как дефицит пространства</li> <li>– имеет нестандартные формы и размеры</li> </ul>

Основные требования, которые предъявляются к барной стойке – это ее функциональность и износостойкость. Также она должна быть удобной для ее использования. Считается, что оптимальная высота барной стойки это высота, на которую удобно положить локти и перенести на них вес. Обычно высота барной стойки составляет 1,2 м. Высота сидений барных стульев 105 см. Требования к барным стойкам представлены в ГОСТ 17524.5-93 "Мебель для предприятий общественного питания. Функциональные размеры стоек барных, кафетерийных, буфетных".

На основе рассмотренного материала можно спроектировать универсальную, мобильную, модульную дизайнерскую барную стойку, которая будет собираться из одинаковых простых модулей, трансформироваться в несколько конфигураций для размещения в любом архитектурно сложном пространстве.

#### Список литературы:

1. Фред Лоусан Рестораны. Клубы. Бары. Планирование, дизайн, управление / Лоусан Фред – М.: Проспект, 2007 – 392 с.
2. Волков Ю.Ф. Интерьер и оборудование гостиниц и ресторанов / Ю.Ф. Волков Ростов н/Д.: Феникс, 2004. - 352 с.
3. [www.probar.ru](http://www.probar.ru)
4. <http://kuhni-zdes.ru/barnye-stojki/>
5. <http://www.obxss.ru/page104.html>
6. <http://masterbar.ru/mods.php?name=section&oid=5&bid=31>
7. [http://www.restus.ru/barnaya\\_stojka/](http://www.restus.ru/barnaya_stojka/)
8. <http://www.znaytovar.ru/s/Trebovaniya-k-mebeli-predpriyati.html>
9. <http://barricada.tiu.ru/a24192-barnaya-stojka-vzglyad.html>

## НОВЫЙ ПОДХОД К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ МОЗАИКИ

Мухина Т.С., Петрова С.Г.

Научный руководитель: Петрова С.Г., к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
190008, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

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

В настоящее время происходит активное освоение современных технологий производства микроэлектроники и нанотехнологий. Это связано с тем, что в машиностроении и приборостроении все более важно становится уменьшение размеров и улучшения технических характеристик элементов изделий.

С получением тонких пленок эта проблема нашла свое разрешение. Тонкие пленки представляют собой слой какого-либо материала, толщина которых находится в диапазоне от долей нанометра (моноатомного слоя) до нескольких микрон ((с толщиной от 10 до 10000 Å)).

Тонкие пленки бывают твердыми, жидкими и даже газообразными. Газообразные тонкие пленки могут возникать между каплями и объемной жидкостью в условиях испарения. Жидкие – делят на газообразную дисперсную фазу в пенах, которая возможна только при наличии ПАВ в составе пленок и жидкие фазы в эмульсиях, возникающих самопроизвольно между зернами в поликристаллических твердых телах, если поверхностная энергия границы зерна превышает поверхностное натяжение на границе твердой и жидкой фаз более, чем вдвое (условие Гибса-Смита). Твердые тонкие пленки можно получать различными методами: вакуумным напылением, химическим осаждением, ионным распылением, а также с помощью процессовковки и прокатки материала. Наиболее часто используемые в научных исследованиях методы: CVD-процесс (Chemical Vapor Deposition – химическое парофазное осаждение), PVD-процесс (Physical Vapor Deposition – напыление конденсацией из паровой (газовой) фазы), в том числе вакуумное термическое распыление.

Все методы нанесения пленок характеризуются такими параметрами как скорость получения покрытий и диапазон достигаемых толщин.

Существует большое количество методов нанесения пленок в вакууме:

1. Осаждение тонких пленок в вакууме методом термического испарения. К достоинствам такого метода относятся высокая чистота осаждаемого материала, универсальность и относительная простота реализации. К недостаткам – нерегулируемая скорость осаждения, низкая, постоянная и нерегулируемая энергия осаждения энергия осаждаемых частиц. Во время этого процесса генерируются атомы или молекулы вещества. Эти частицы, обладая равной или превышающей  $T_{исп}$ , покидая испаритель, переносятся на подложку и конденсируются на ее поверхности в виде тонкой пленки.

2. Молекулярно-лучевой метод. В данном методе наличие тепловых экранов и контроль температуры обеспечивает одинаковую энергию испаренных частиц и идеальную диаграмму распределения частиц по направлениям.

3. Осаждения тонких пленок в вакууме ионным распылением заключается в выбивании (распылении) атомов вещества из поверхностных слоев мишени высокоэнергетичными ионами рабочего газа. Ионы образуются в газовом разряде при давлении и ускоряются вследствие приложения к мишени отрицательного потенциала. Распыленные из мишени атомы осаждаются в виде тонкой пленки на поверхности подложки.

4. Испарения вещества взрывом.

5. Осаждение тонких пленок дуговым разрядом.

6. Ионное осаждение.

7. Химическое осаждение.

8. Реактивное осаждение.

Поскольку, рост пленки зависит от большого числа переменных, необходимо знать как их контролировать в процессе напыления. Важными параметрами при нанесении пленки являются: уровень вакуума, скорость осаждения, температура подложки и ее структура. Правильный выбор этих параметров имеет решающее значение при осаждении пленок. Изменяя направленным образом параметры удается управлять свойствами и достигать улучшенных эксплуатационных характеристик.

С помощью данных методов наносятся:

- Металлы (Al, Cu, Ni, Ti...)
- Сплавы (NiCr, CrNiSi...)
- Химические соединения (силициды, оксиды, бориды, карбиды...)
- Сложные стекла

Покрываются оксидами прочнее, чем покрытия металлами и наиболее устойчивы к внешним воздействиям. Подобное явление связано с тем, что оксиды металлов это стабильное состояние структуры не подверженное дальнейшим изменениям, а также имеющее сродство со стеклом (ведь стекло – это композиция окислов металлов).

Очень интересно происходит процесс получения пленок нитрида титана  $2Ti+N_2=2TiN$ . Вместе с физическим процессом, при напуске в рабочую камеру реактивного газа, в пространстве между источником и подложкой или на поверхности подложки протекает еще и химическая реакция. Если это происходит, то соответствующий метод называют реактивным.

В большинстве своем покрытия наносят для упрочнения, твердости, износостойкости. Одним из видов таких покрытий, представляющих большой интерес для машиностроения, являются наноструктурные покрытия на основе нитридов титана и кремния (TiSiN). При нагреве TiSiN выделяется пленка SiO<sub>2</sub>, которая служит барьером для дальнейшего проникновения кислорода в покрытие. Таким образом, повышается температура нагрева покрытий на воздухе до значений 800 °С. Кроме того, на металлорежущих инструментах при температурах более 700 °С, которые обычно возникают в процессе резания, эта пленка препятствует адгезионному взаимодействию покрытия с обрабатываемым материалом, обеспечивая снижение износа, усилий резания и температуры в контактной зоне. Уменьшению износа также способствует сверхвысокая твердость и увеличенное сопротивление пластической деформации материала покрытий.

У объектов имеющих малые размеры кардинально меняются свойства. Такие как: температура плавления, степень переохлаждения и межплоскостное расстояние по сравнению с массивными объектами. Силы поверхностного натяжения, которые в массивных образцах не играют существенной роли, в нанобъектах становятся существенными. Действие силы поверхностного натяжения можно уподобить приложению внешнего давления, которое может изменить как температуру плавления, так и межплоскостные расстояния.

Исследование данных объектов имеет решающее значение для совершенствования микроэлектронных устройств и для науки в целом, а также может иметь большое значение для искусства. Тонкие пленки широко применяются в качестве упрочняющих, светоотражающих, проводящих и диэлектрических покрытиях. Декоративное применение покрытий малых толщин связано с созданием зеркал и покрытий для ювелирных изделий. Но это не предел возможного применения покрытий.

Их прочностные характеристики, возможность использования в качестве подложки стекло расширяют сферу применения данного материала. Его можно использовать в строительстве, в отделке интерьеров, в витринах, для оформления зданий, в дизайне внутренних помещений.

Пока нет очень богатой палитры покрытий, но меняя характеристики при их создании (температуру, давление) добиться этого возможно. Высокая прочность пленочных покрытий, а за счет малой толщины - легкость, богатая палитра, делают новый материал большим конкурентом таких классических материалов как смальта. Уже сейчас возможно получение ярко синих и золотистых цветов на тонких пленках нитрида титана. Меняя характеристики можно, если не создать огромную палитру, то установить зависимость и предугадать появление оттенков цвета. Так например, при получении покрытий TiSiN чем больше концентрация Si тем темнее цвет покрытия. Он превращается из светло-золотистого и блестящего в матовый коричневый.



Рис. Пример использования материала в мозаичных работах.

Так пленка с максимальным содержанием кремния толщиной 0,5 мкм была получена при осаждении в атмосфере N<sub>2</sub>. Она является наиболее темной, почти коричневой. В настоящее время данный материал редко используется в качестве декоративных элементов в мозаике из-за не богатой палитры цветов и плохой сцепляемости осаждаемого материала с подложкой. Рассмотренный способ позволит добиться лучших результатов, чтобы можно было создавать произведения искусства из новых материалов с улучшенными эстетическими характеристиками.

#### Список литературы:

1. Юрий Панфилов. Нанесение тонких пленок в вакууме / Технологии в электронной промышленности, №3, 2007
2. А.И.Андреев, С.В.Мухин, В.В.Некрасов, В.А.Никитенко, А.В.Пауткина. Измерение толщины наноразмерных объектов <http://www.avantes.ru/articles/up1/43.php>
3. Ю.П.Солнцев, Е.П.Пряхин. Материаловедение. СПб: ХИМИЗДАТ, 2004.
4. И.М.Неклюдов, В.М.Шулаев. Нанотехнологии. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2008.

## КЕРАМИЧЕСКАЯ МОЗАИКА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ КАК ДЕКОРАТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В СОВРЕМЕННОМ ИНТЕРЬЕРЕ

Новикова А.С., Тутова С.А.

Научный руководитель: Лапунова К.А.

Ростовский государственный строительный университет  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

E-mail: [anastasiya\\_novikova\\_1991@mail.ru](mailto:anastasiya_novikova_1991@mail.ru)

Мозаика (от фр. *mosaique*, ит. *mosaico*, лат. *musivum*, буквально — посвященное музам) – это искусство, в котором рисунок воспроизводится посредством расположенных определенным образом кусочков какого-либо твердого материала, скрепленных между собой тем или иным вяжущим веществом. Мозаичные элементы встречаются во всех известных культурах, до нас сохранились древние стены с узорами из кусочков обожженной глины, выложенные народами Месопотамии и Древнего Египта [1]. Искусство прошлого восхищает роскошными мозаичными полами средневековых храмов и дворцов, и миниатюрными медальонами, составленными из мельчайших кусочков драгоценных камней и стекла.

Римская мозаика — набирается из мельчайших, специально обкатанных кубиков, что позволяет достигать точности изображения. В технике римской мозаики могут быть выполнены как геометрические композиции, так и сюжетные с изображением птиц, рыб, животных, цветов и копии живописных полотен.

Византийская мозаика – это прежде всего мозаика из смальты. Основные отличия византийской мозаики от римской - это более мелкий модуль камней, более деликатная кладка.

Модуль мозаики может быть разнообразным - от большого к малому. Чем меньше модуль, тем живописней рисунок, но тем больше труда вкладывается в мозаику. Такая мозаика является предметом роскоши в интерьере. Это гораздо более долговечный вид искусства, чем живопись.

Ранее для производства мозаики использовали натуральные материалы: смальту – стекло природного происхождения, цветовая гамма которого зависит от доминирующих минеральных компонентов, и мрамор – «сияющий камень», однако из-за высокой стоимости оба варианта для среднего класса считались недоступными, и позволить их себе могли только состоятельные люди.

В современном мире новейших материалов и технологий стекло и керамика "отстояли" свое место, перейдя в категорию элитных, модных, экологических и натуральных. Они широко используются при создании интерьеров в самых разных стилях: классицизм, хай-тек, кантри, минимализм, этнический и др. Искусство мозаичной кладки переживает свое второе рождение. Украшения из мозаики можно встретить не только в общественных помещениях – все чаще к мозаике обращаются дизайнеры, используя ее в оформлении жилых домов и квартир, а также для декорирования аксессуаров и предметов интерьера: мебели, зеркал,

светильников. Декорируются мозаикой даже автомобили, создаются самостоятельные полноценные арт-объекты [2].

Мозаика состоит из отдельных элементов - пикселей, традиционный размер которых 15x15 мм. Однако производители постепенно вносят разнообразие в размерные параметры, предлагая и более мелкие пиксели – 10x10 мм, – и более крупные, которые могут достигать 50x 50мм. На сегодняшний день на рынке представлена мозаика с круглыми, овальными и ромбовидными пикселями. При этом не только форма, но и толщина мозаичных элементов также может варьироваться [3].

С помощью мозаики можно не только украсить интерьер, но и изменить восприятие масштаба помещения. Незаменима мозаика в помещениях с повышенной влажностью, это стойкий и легкомоющийся материал. В последнее время мозаика стала все чаще использоваться не только в ванных и кухнях, но и в других зонах жилья. Мозаика хорошо ложится на криволинейные поверхности. Это отличный материал для того, чтобы подчеркнуть отдельные элементы фасада дома, ступени, части скульптур. Применяя прием цветовой растяжки, постепенно переходя от темных тонов к светлым, можно добиться интересных визуальных эффектов, скрывая проблемные места дома, к примеру, острые углы. Неоспоримый плюс мозаики в том, что этот материал сочетается практически с любым вариантом отделки стен – окраской, обоями, даже с открытой кирпичной кладкой.

Мозаику можно использовать для оформления широких подоконников, рабочих поверхностей столов, несущих колонн, подиумов и, конечно, пола. Особенно в квартирах интересно применение мелко модульной мозаики, позволяющей выкладывать даже небольшие панно, тонкие по графике и цветовому решению. Чем мельче элементы мозаики, тем больше возможности для детализации изображения. Популярны украшения в виде мозаичных ковров, настенных панно, фризových композиций, вставок в ванных комнатах [2].

Мозаика – очень удобный материал для воссоздания самых смелых дизайнерских замыслов. К числу самых оригинальных вариантов использования мозаики относятся создание каменного ковра и настенных панно. Причем тут фантазия художника способна быть поистине безграничной: панно может быть выполнено хоть в африканском стиле с его простыми геометрическими формами и четкими цветовыми контрастами, хоть в холодном хай-теке, для которого идеально подойдет золотая

или серебряная мозаика. Ведущие дизайнеры интерьеров давно назвали мозаику своим излюбленным материалом. Дело в том, что только она позволяет создать уникальный дизайн в небольших городских квартирах, и только ее разнообразие может служить залогом того, что это будет уникальный дизайн [1].

Керамическая мозаика проста в работе, поскольку способна укладываться практически на любые поверхности – стены, полы, потолки, ванные комнаты и бассейны, печи и камины, украшать различные предметы интерьера

С точки зрения технологии существует несколько вариантов укладки мозаики:

- матричный (на бумажной основе или сетке);
- художественный (прямой или обратный).

При матричной укладке мозаичные плитки предварительно наклеиваются на основу-матрицу, а затем уже переносятся на грунт. Художественная укладка предполагает набор изображения вручную. При прямом варианте компоненты мозаики укладываются сразу в грунт, при обратном – собираются в целую картину, закрепляются раствором, и только после этого крепятся на стену или потолок [4].

Процесс укладки мозаики достаточно трудоемок и имеет много тонкостей. Поверхность, на которую будет ложиться мозаика или панно, должна быть тщательно обработана и выровнена. Работы по укладке проводятся при определенной температуре, чтобы избежать температурного расширения и деформаций мозаичной плитки. Кроме того, важно учитывать уровень влажности помещения и в соответствии с этим выбирать раствор и клей.

Если же умножить существующие формы, цвета, размеры и фактуры мозаики на количество способов ее укладки, становится ясно, что возможности этого отделочного материала ограничены только фантазией дизайнера или владельца.

Наряду с керамической мозаикой наибольшей популярностью среди покупателей пользуется металлическая мозаика, благодаря своей блестящей металлической поверхности, особенно актуальной в современном дизайне интерьера. Такая мозаика изготавливается из нержавеющей стали и меди. Чаще всего в качестве подложки используются не глиняные плитки, а резиновые пластинки толщиной до 4 мм, а сверху к ним крепится стальной слой. Для декора интерьеров металлическая мозаика является отличным и оригинальным решением. Однако существует ряд недостатков: подверженность коррозии, сравнительно малая огнестойкость и дороговизна, что делает её мало распространенной.

Конкуренцию ей в дизайнерском плане составляет керамическая мозаика с напылением из драгоценных металлов, нанесенных на керамический черепок. Это разрешает проблему коррозии малой огнестойкости, но не решает вопроса стои-

мости. Эксклюзивная керамика с золочением стоит дорого. К примеру, цена мозаики с натуральным золотым напылением составляет 110000 руб. за кв. метр [5].

Чтобы воплотить в жизнь дизайнерские идеи, связанные с мозаикой такого рода, и сделать их доступными для потребителя, мы предлагаем использовать в качестве покрытия полимерные краски, имитирующие поверхность металла.

Характер нанесения красок (надглазурные, подглазурные, межглазурные, стекольные) зависит от соотношения "пигмент – флюс". В высокотемпературной области подглазурного декорирования в красках больше пигмента и меньше флюса (примерное соотношение – 80% пигмента и 20% флюса). Для межглазурных и надглазурных красок это соотношение последовательно меняется. Краски для тонкостенного стекла, наоборот, содержат 80% флюса и 20% пигмента. Соответственно, чем больше пигмента и меньше флюса, тем выше температура обжига краски и ее укрывистость [6].

При декорировании покрытия необходимо учитывать согласования коэффициента термического расширения (КТР) черепка и красок. Кроме этого, важным фактором является стойкость краски к внешним воздействиям и агрессивным средам. Чем выше температура обжига, тем выше стойкость краски. Очевидно, что наивысшей стойкостью обладают подглазурные краски, затем межглазурные и надглазурные. Технология нанесения полимерных порошковых красок – экологически чистая, безотходная технология получения высококачественных защитных и защитно-декоративных полимерных покрытий. Покрытие формируют из полимерных порошков, которые напыляют на поверхность изделия, а затем в печи под определенной температурой проходит процесс термообработки (полимеризации). Качество покрытия зависит от строгого соблюдения технологических режимов всех стадий процесса [6].

Однако краску можно наносить не только сплошным покрытием, возможно также нанесение разнообразных рисунков и орнаментов, что дает дизайнеру еще больший простор для творческой мысли. При одновременном использовании мозаик с глухим покрытием из полимерной краски и с орнаментом, появляется огромное множество комбинаций. Такая мозаика будет особенно востребована среди поклонников стиля хай-тек, этно, арт-деко и других актуальных стилей.

#### Список использованной литературы:

1. ElitCeram.ru
2. Журнал «Идеи Вашего дома. Специальный выпуск.»
3. mozaika-rostov.ru
4. stellarvvv.ru
5. Журнал «Мой любимый дом» №4, 2011
6. vse-kraski.ru

## ДИНАМИКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЕШАЛКИ-МАНЕКЕНА И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Целевин Е.А., Соколов А.П.

Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [moonfish\\_zh@mail.ru](mailto:moonfish_zh@mail.ru)

В наши дни вешалки и манекены стали одним из наиболее распространённых способов презентации товаров. Они так же могут быть использованы в декоративных целях не только в магазинах, но и в любом доме и офисе.

Целью данной работы является исследование процесса создания металлического ажурного арт-объекта (манекен-вешалка). Логика движения к цели определяет ряд следующих задач:

- создание эскизного проекта манекена-вешалки;
- выбор материалов деталей конструкции манекена и технологии их художественной обработки и соединения;
- разбиение конструкции манекена на детали или свариваемые фрагменты;
- изготовление макета (натурного образца).

В данной работе будет рассмотрен процесс создания манекена, его преимущества и недостатки в сравнении с некоторыми аналогами, причины выбора технологии производства и сборки.

Существует большое количество декоративных и в то же время функциональных вешалок-манекенов. Каждый из них имеет свою область применения. И при таком многообразии возникает желание найти самое оптимальное сочетание цены, дизайна и функциональности.

Рассмотрим некоторые варианты, прототипы предлагаемого нами дизайнерского решения.

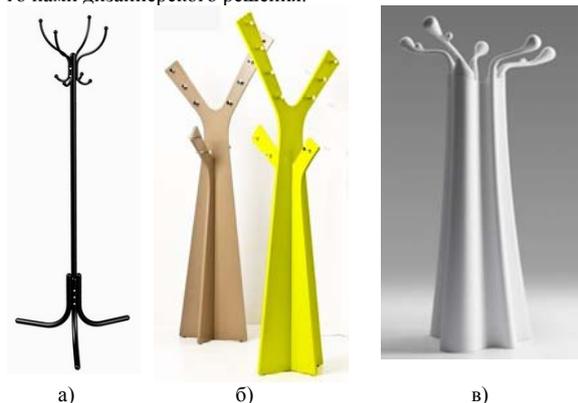


Рис.1. Вешалки: а) стандартные, б) и в) фантазийные вешалки из пластика

На рис. 1а представлена обычная вешалка, которую можно увидеть почти в любом офисе или доме. Данная модель выполнена из прочной стали, что позволяет удерживать на себе любое количество одежды, и отличается простотой конструкции. По сути, данный экспонат не является дизайнерским проектом или вершиной инженерской задумки: это самая обыкновенная вешалка – компактная и удобная в эксплуатации. На рис. 1 б) и рис. 1 в) вешалка трансформируется, и приобретает как новые функциональные возможности и формы (древовидные и фантазийные), так и цвет (салатный, песочный). На рис. 2 можно наблюдать дизайнерские находки Дэвида Ольшевского. Вешалка представляет собой модели садово-огородных инвентарей - лопат и граблей. В дизайнерской практике – это новое и оригинальное решение, однако, такая вешалка не совсем удобна в эксплуатации в связи с тем, что отсутствует каркас, поддерживающий плечики, что приводит к неудобству и деформации силуэта при длительном хранении одежды.



Рис. 2 Вешалки Дэвида Ольшевского

Отдельно выделим особую группу вешалок, которые являются арт-объектами, т.е. представляет не только материальную, но и художественную ценность (рис. 3) Материалом для изготовления представленных вешалок служит дерево



Рис. 3 Художественные вешалки

По установившимся представлениям [2] жизненный цикл художественных изделий содержит стадии: творческая разработка, дизайн; разработка технологии; изготовление; художественное восприятие (эксплуатация). Он отличается от жизненного цикла изделий технического назначения, который включает: научно-исследовательские работы; проектирование; разработка технологии; изготовление; эксплуатация; утилизация.

Вешалки-манекены, создаваемые как арт-объекты, относятся к художественным изделиям, и, соответственно, процесс их создания включает три стадии:

- творческая разработка, дизайн;
- разработка технологии;
- изготовление.

Создание манекена начинается с зарисовки его эскиза. При этом дизайнер, должен продумывать места будущих сварных соединений, так как это значительно влияет на внешний вид и эстетику. Потому уже на этапе дизайн-проекта рекомендуется консультация технолога.



Рис. 4. Вешалка-манекен.  
 Дизайн Анны Погоцкой

На рис. 4 представлен эскизный проект вешалок-манекенов, выполненный студенткой ТПУ Анной Погоцкой. В основу образа положен абрис женской фигуры, что предполагает (в отличие от вешалки-лопаты) комфортное расположение одежды на плечиках. Вешалка также предназначена для размещения на ней зонтиков, шляп, платков, шалей. При этом, в отличие от стандартной вешалки на рис. 1а, этот объект, даже при отсутствии на нём предметов одежды является художественным украшением интерьера – арт-объектом.

Следующий этап работы – изготовление макета из проволоки для уточнения пропорций и технологических аспектов соединения деталей каркаса манекена, а также проверки эстетичности восприятия объекта при различных ракурсах его обозрения.

По эскизу (рис. 4) собирается объёмная модель вешалки-манекена из проволоки, представленная на рис. 5. Сборку можно проводить при помощи пайки, клейки или затягивать узлы при помощи проволоки (или ниток). При этом также желательно отобразить все конструктивные места будущей сварки.



Рис.5. Объёмная модель-макет

По эскизу (рис. 4) собирается объёмная модель вешалки-манекена из проволоки, представленная на рис. 5. Сборку можно проводить при помощи пайки, клейки или затягивать узлы при помощи проволоки (или ниток). При этом также желательно отобразить все конструктивные места будущей сварки.

В манекене можно выделить отдельные фрагменты. Необходимо будет использовать стыковые и тавровые сварные соединения. Ниже показаны условные соединения будущей модели, так как в ходе производства натурной модели они могут быть изменены вследствие требований технологии сборки (такое может произойти, когда не все аспекты производства арт-объекта были уточнены у технолога)[3, с. 295].

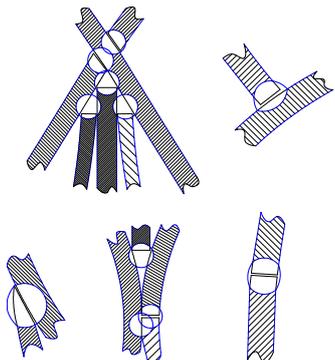


Рис. 5. Виды сварных соединений вешалки-манекена  
 Переходя к самому процессу сборки и сварки манекена необходимо выбрать доступный и экономически целесообразный материал. В нашем случае это стальной пруток. Он должна быть достаточно гибким и в то же время прочным, а также обладать свариваемостью. Необходимо также учитывать коробление металла при сварке, так как это сильно влияет на внешний вид конструкции.

При изготовлении деталей будем использовать холодную ковку. Это достаточно дешёвый метод, т.к. он не требует специального оборудования. Однако при этом точность изготовления и временные затраты целиком зависят от профессионализма рабочего [3, с. 259].

В связи с небольшим диаметром прутка (порядка 12 мм) целесообразно использовать сварку плавящимся электродом на весу. Завершающими этапами будут зачистка, шлифовка и покраска манекена.

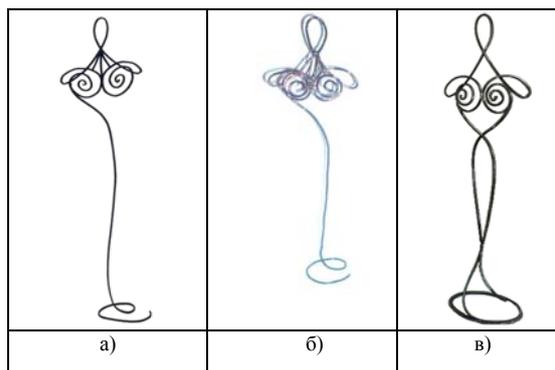


Рис.6. Динамика формообразования вешалки-манекена: эскиз – модель – натурная модель

На рис. 6 представлена динамика изменения формы вешалки-манекена. В эскизной модели рис. 5а показан лишь образ объекта без учета особенностей технологии. На рис. 5б показан макет из проволоки, выполненный в масштабе 1:10. На рис. 5в приведена фотография реального натурального объекта, выполненного по эскизу 5а. Видно, что для реализации вешалки в реальном масштабе потребовались следующие изменения:

- убрали три декоративных элемента в районе горловины;
- усилили конструкцию основания для обеспечения безопасности эксплуатации и устойчивости.

Выводы: Процесс создания вешалки-манекена включает изготовление объёмной модели-макета, на которой уточняются пропорции объекта и учитываются особенности его восприятия в различных ракурсах. Макет служит своеобразным «объёмным чертежом» при изготовлении реальной вешалки-манекена.

#### Список литературы:

1. [dmy-berlin.com](http://dmy-berlin.com)
2. Пирайнен В.Ю. Технология художественной обработки металлов / В.Ю. Пирайнен, М.А. Иоффе, О.Н. Магницкий. СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. 487 с.
3. Дизайн. Материалы. Технологии. Энциклопедический словарь / Под. ред. В.И. Куманина, М.С. Кухта: Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 320 с.

## АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ТОМСКОГО ЗОДЧЕГО В. П. МИХАЙЛИКА

Прохоренко Ю.В.

Научный руководитель: Толкачева К.П., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

Целью данной работы является анализ архитектурного освещения здания томского зодчего Виталия Павловича Михайлика, который внес большой вклад в создание прекрасного облика города Томска.

Область его архитектурной деятельности разнообразна: это и жилые дома, и торгово-офисные и спортивные сооружения. На сегодняшний день в различных частях города Томска можно встретить созданные им здания, такие как, например, жилые дома по улицам Сибирской, Красноармейской, Вершинина, жилой дом со встроенными магазинами по улице Красноармейской.

Направление, в котором работает Михайлик – эклектика. В его проектах можно наблюдать ансамбль стилей и форм. Встречаются элементы барокко, модерна, каркасные элементы архитектурного декора. Здания имеют сложные формы фасадов и кровли. Зачастую – это цилиндры, полуovalы, своеобразные «ломаные» поверхности фасадов.

Хотелось бы отметить административно-торговый комплекс «Статус» являющийся доминантой среди его построек.

Административно-торговый комплекс «Статус» расположен на площади Батенькова в центре города, где сосредоточены главные административные, торговые и культурные объекты Томска. Монументальное строение потрясает своей необычностью и, вместе с тем, оно не выбивается из общего архитектурного ансамбля среды площади Батенькова, а облагораживает ее, придавая современный европейский вид.

Комплекс спроектирован с учетом пространственной проблемы данного места, он заполняет промежуток между двумя зданиями и формирует угол площади Батенькова, образуя микроплощадь центральным входом.

Здание выполнено в эклектичной манере с мотивами барокко. Присутствует симметричное членение фронтальной части фасада с полуovalным выступом по центру. Этот центральный элемент декорирован горизонтальными поясками, разделяющими ярусы. Фронтальная часть имеет ленточное остекление, при помощи которого могут быть созданы интересные решения архитектурного освещения. Его венчающая часть - каркасная конструкция, напоминающая по форме дирижабль, опустившийся на крышу здания. Если посмотреть на конструкцию сверху - это эллипс, ориентированный своими осями на шпиль Алексеевского монастыря [1].

В 2006 году для «Статуса» был разработан и выполнен проект архитектурного освещения.

Боковые фасады освещены прожекторами Mach 2 C-НІ с металлогалогенной лампой НІТ-DE 70 Вт, дающей теплый белый свет, подходящий для цветовой палитры экстерьера комплекса. Прожекторы создают необычный световой ритм, но при этом ломают плоскость фасада, преподнося геометрию здания не самым удачным образом.

В центральной остекленной части установлены люминесцентные панели, подчеркивающие ярусность здания. Вместе они представляют собой пунктирные световые пояски, что является оригинальным и гармоничным решением для данного архитектурного сооружения.

Особое внимание уделяется венчающей части административно-торгового комплекса «Статус». В ее основании установлены прожекторы, освещающие «дирижабль» (рисунк1).



Рисунок 1. Вечерний вид административно-торгового комплекса «Статус»

Т.к. проект был выполнен несколько лет назад, когда вопросу энергосбережения уделяли не так много внимания, в нем использованы достаточно мощные ОП (осветительные приборы). Общая мощность ОУ (осветительной установки) 5 кВт.

В настоящее время развиты энерго-сберегающие светодиодные технологии в освещении, в том числе архитектурном. Большой выбор светодиодных светильников позволяет подобрать аналоги металлогалогенным и люминесцентным ОП для имеющейся осветительной установки, не меняя при этом световую композицию.

Сравним светотехнические и экономические характеристики светодиодных и металлогалогенных осветительных приборов на примере освещения административно-торгового комплекса «Статус» (табл.1).

Таблица 1. Сравнение МГЛ и LED прожекторов

Параметры	МГЛ	LED
ОП (40 шт.)	<b>Mach 2 C-НI</b>	<b>Москва МI-30</b>
Тип ИС	НIT-DE 70ww	Светодиоды, 30 шт.
Мощность, Вт	70	35
Св. поток, лм	6000	2700
Светоотдача, лм/Вт	85	77
Срок службы, тыс. ч.	6000	50000
Габаритные размеры, мм	328x106x220	225x165x55
Цена ОП, р	3800	5800

Для люминесцентной панели также подобран светодиодный аналог (табл.2).

Таблица 2. Сравнение люминесцентных и LED световых панелей

Параметры	МГЛ	LED
ОП (62 шт.)	<b>OPL/S 218</b>	<b>LED 1807 NW</b>
Тип ИС	Люминесцентные лампы T8	Светодиоды, 30 шт.
Мощность, Вт	36	30
Св. поток, лм	2100	1900
Светоотдача, лм/Вт	58	63
Срок службы, тыс. ч.	12000	50000
Габаритные размеры, мм	300x600x38	300x600x9,6
Цена ОП, р	1442	6200

Исходя из данных табл. 1 и табл. 2, можно сделать вывод, что в настоящее время при малом энергопотреблении светодиодные источники имеют относительно небольшой световой поток и высокую стоимость, а их световая отдача, не превышает световую отдачу металлогалогенных источников света

При замене существующих осветительных приборов на светодиодные аналоги мощность установки составит 3,3 кВт. Достигаемая экономия – 1,7 кВт. При этом будет наблюдаться снижение светового потока, что несущественно повлияет на световой образ.

Таким образом, ввиду постепенного физического и морального устаревания, существующая установка архитектурного освещения здания «Ста-

тус» нуждается в модернизации. Новый световой образ должен еще больше подчеркнуть необычную геометрию этого архитектурного сооружения.



Мною был разработан эскизный дизайн проект современного варианта архитектурного освещения здания «Статус».

Для освещения боковых фасадов вместо металлогалогенных прожекторов использованы светодиодные источники, которые позволяют поновому подать привычные архитектурные формы.

В данном световом решении подчеркнута членение боковых фасадов. Выступающая вперед плоскость освещена светодиодными линейными источниками, расположенными ярусно. В отличие от ярких световых пятен прожекторного пучка, они создают мягкий градиент, обрамляющий световой рисунок центральной части фасада. Основная часть бокового фасада залита светом с помощью светодиодных прожекторов.

Кроме того в данном световом решении использованы светодиодные источники трех цветов: холодный белый, желтый и оранжевый. Для торгово-административного центра подходит такой яркий вечерний облик, он, несомненно, привлечет посетителей.

Центральный световой рисунок не выбивается из новой концепции освещения, он остался прежним с заменой приборов на светодиодные.

Выбранный архитектурный объект, несомненно, отражает изысканный почерк томского зодчего, гармонично вписывается в общий ансамбль города и играет в нем важную роль. Реконструкция архитектурного освещения комплекса «Статус» на светодиодное позволит создать интересную световую композицию, по новой преподнесет это здание и оживит ночной образ центра города Томска.

#### Список использованных источников:

1. Маюнова О.И., Томск. Архитекторы. Архитектура. – Томск: Лель, 2009. – 562 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ "ЗЕЛЕННЫХ" ЗОН ПОМЕЩЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДОВОГО ДИЗАЙНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭСТЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

Пугачёва А.Е.

Научный руководитель: Зуев А.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [pugacheva@sibmail.com](mailto:pugacheva@sibmail.com)

Последние семьдесят лет истории человечества во многом интересны: вкусы унифицируются и человечество плавно «переселяется» из городской среды в интернет – это объясняется глобализацией, благодаря которой, люди начинают заботиться о качестве жизни – своей и потомков, потому что каждый день слышат о глобальном потеплении, озоновых дырах и землетрясениях. Многие начали бережнее относиться к природе, примером тому служат: Всемирный фонд дикой природы, энергопассивные здания и «зелёные» районы. Самое главное, что планетарные проблемы решаются не только всемирно: экодизайн и фитодизайн помогают рядовому человеку поддерживать природу, ну или хотя бы минимально восполнять нанесённый ущерб.

Чтобы разобраться в том, как каждый из нас может помочь себе и окружающим, нужно уяснить, что такое фитодизайн.

Фитодизайн — целенаправленное научно-обоснованное введение растений в дизайн интерьера помещений с учётом их биологической совместимости, экологических особенностей, способности к улучшению качества воздуха в помещении.

В 1983 академик А.М.Гродзинский выделил шесть основных задач фитодизайна:

1. эстетико-психическое воздействие растений на человека посредством красоты формы и цвета;
2. улучшение воздушной среды обитания человека;
3. обеззараживание, оздоровление окружающей среды, в основном за счет летучих фитонцидов;
4. очищение воздуха от газов, пыли, дыма, снижение шума растениями и другие;
5. биоиндикация, т.е. использование растений как живых индикаторов загрязнения воздуха, почвы и воды;
6. изучение состояния самих растений в интерьерах с целью подбора наиболее эффективных и хорошо растущих видов.<sup>[3]</sup>

Стоит отметить, что для простого обывателя будет достаточно двух пунктов, которые можно ввести из основных задач фитодизайна:

1. эстетико-психологическое воздействие растений на человека посредством красоты формы и цвета;

2. экологическое и оздоровительное воздействие растений на человека посредством улучшения воздушной среды.

Подробнее остановимся на каждом из них.

Радоваться красивому человек научился с незапамятных времен, постепенно культивируя дикорастущие растения, совершенствуя способы украшения жилища и цветочного хозяйства в целом. Это объясняется тем, что цветы оказывают психофизиологическое и эстетическое воздействие посредством формы, цвета и фактуры. Стоит рассматривать эти признаки в совокупности, так как один может влиять на другой: изменение цвета влечёт за собой изменение восприятия формы среды и наоборот. Это особенно важно, когда целью стоит создание композиции, потому что возникает возможность создавать иллюзии, используя особенности цвета, известные в цветоведении – пространственные, весовые и температурные, обеспечивающие неисчерпаемость возможных решений. Психологическая особенность восприятия окружающей среды состоит именно в том, что оно всегда отражает не отдельные свойства или черты, а вещи, предметы, явления в совокупности. Хотя, цвет и сам по себе влияет на душевное состояние человека, способен вызывать разные чувства. Такое восприятие называют чувственным или эмоциональным тоном ощущения<sup>[1]</sup>. В природе цвет информирует существа о том, что происходит вокруг: красные оттенки ядовитых растений «кричат»: «я опасен, не смей меня есть (предостерегающая окраска)!» «Цветовые знаки» настолько прочно запомнились людям, что теперь тысячи психологических экспериментов показывают, насколько наше состояние зависит от окружающей цветовой гаммы: красный цвет возбуждает, а зелёный наоборот – успокаивает<sup>[2]</sup>.

Традиция выращивать в помещениях цветы была обусловлена не только эстетическими факторами, ведь ещё древние знали о целебных свойствах многих культур, но только по прошествии времени стали замечать, что растения служат фильтром для вредных веществ, действуя как «зелёная печень». Когда учёные стали искать причину этого явления - обнаружили, что растения выделяют так называемые фитонциды – биологически активные вещества, которые убивают или подавляют рост и размножение бактерий. Значение фитонцидов для человека может быть положительным и отрицательным, но при умелом сочетании растений можно создать интерьеры направленного фармакологического воздействия – тонизирующего, бодрящего и успокаивающего. Эксперименты, проведённые в больницах и школах, го-

ворят о том, что в помещениях, где произрастают полезные растения, люди меньше болеют и обладают большей работоспособностью.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что комнатные растения необходимы в помещениях, где человек проводит большое количество времени. Особенно это касается рабочих зон, которые оснащены различной техникой. Ввиду этого, практическая часть работы будет посвящена созданию благоприятного климата в мультимедийных аудиториях.

Для одной из аудиторий Томского политехнического университета был разработан проект, заключающийся в создании «зеленых» зон, обустроенных цветниками. На рисунке 1 представлен многоуровневый цветник «Пьедестал», неоспоримым плюсом которого является вариативность в выборе растений: можно использовать цветы с разной корневой системой – стержневой и мочковатой. Другой вариант дизайна, который имеет рабочее название «Изумрудный в городе», представлен на рис.2, не предполагает широкого выбора растений. Но, несмотря на это, имеет свои плюсы: домики, крыши которых имеют «зеленую» кровлю, служат не только ёмкостями для растений, но выполняют и ещё одну функцию: в корпус здания вмонтированы люминесцентные лампы, свет которых выходит через окна, освещая растения и рабочую зону.

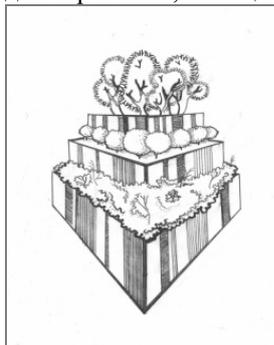


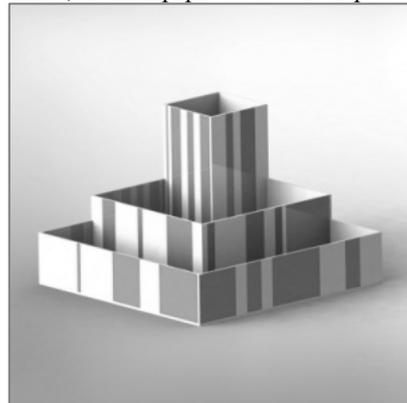
Рис.1.Цветник «Пьедестал»



Рис.1.Цветник «Изумрудный в городе»

Следующим этапом дизайн-проектирования цветников является создание 3D-моделей и их визуализация (рис. 3, рис. 4). Для моделирования был выбран цветник «Пьедестал», который будет выполнен в виде разноуровневых ящиков из пяти-миллиметровой крашеной фанеры или ПВХ, в которые вставляются горшки с растениями. Гамма подобрана следующим образом (в цветовой модели RGB): основной цвет ящика – белый (R:255; G:255; B:255), как символ чистоты и здоровья; декоративная часть цветника – вертикальные травянистые полосы (R:58; G:221; B:220), соединяющие между собой ярусы зелени, говорящие тем

самым о том, что мир растений и мир людей гар-



монично сочетаются между собой.

Рис. 3. 3D-модель «Изумрудный в городе»



Рис. 4. 3D – модель «Изумрудный в городе» на-  
полнение цветника

Следует отметить, что данный проект - это авторское видение вопроса, которое отмечает всю важность поставленной задачи.

Несомненно, растения, подобранные с учётом особенностей человека (аллергические и эстетические факторы), оказывают только положительное воздействие на психическое и физическое здоровье. Подводя итог проделанной работе, отметим, что «зелёные» зоны в помещении – это большой вклад в своё здоровье и в сохранение природы.

#### Список литературы:

1. Степанов Н.Н. – К: Вища школа. Головное изд-во; 1985
2. Тарасевич Г. Главные тренды в домашнем освещении. Журнал РР №45 – 2011
3. Цыбуля Н.В., Фермалова Т.Д. Фитонцидные растения в интерьере. – Новосибирск; Новосибирское книжное изд-во – 2000.

## ЮВЕЛИРНЫЙ ДИЗАЙН МОХОВОГО АГАТА

Пустозерова О.Л.

Научный руководитель: Кухта М.С., профессор, д. филос. н.

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [Olga-pustozeroва@mail.ru](mailto:Olga-pustozeroва@mail.ru)

Изготовление ювелирных изделий – одно из древнейших ремесел в истории человечества. С незапамятных времен ювелирные изделия из золота, серебра и драгоценных камней являлось показателем социального статуса их владельца. В связи с ростом благосостояния народа потребность в высокохудожественных ювелирных изделиях возрастает из года в год, расширяется их производство. [1]

Современный дизайн украшений уже нельзя называть отвлеченным поиском новых художественных форм и их воплощений с помощью передовых технологий. Дизайн, как в ювелирном деле, так и в других областях, уже перешагнул тот уровень, когда он был простым «ремеслом», задача которого состояла в оформительской работе. На сегодняшний день художники имеют теоретическую и практическую базы, они могут использовать опыты наработанные веками, анализировать его и синтезировать.

Дизайн современного украшения должен нести в себе идею, определенный стиль исполнения. Художественные приемы, используемые в ювелирном искусстве, служат достижению декоративности и стилизации. Основные средства декоративного искусства – узор и орнамент.

Орнамент – неотъемлемая часть искусства, художественное отражение мировоззрения и культуры народов, представляющий собой сложную художественную структуру, для создания которой используются различные выразительные средства. Среди них цвет, фактура и математические основы орнаментальной композиции – ритм, симметрия...

В данной статье речь пойдет о декорировании мохового агата (рис.1). Для декорирования взят драгоценный металл – серебро 925 пробы.



Рис.1 Моховой агат.

Моховые агаты: особая разновидность агатов, благодаря включениям, отличающаяся неповторимыми рисунками-пейзажами, от чего их так иногда и называют – пейзажные агаты. Моховой агат, представляет собой просвечивающий агат неяснополосчатой текстуры, содержащий зеленые, белые, желтые, бурые, красные, черные хлопьевидные или дендритовидные включения. Сторонние

включения могут принимать весьма причудливую форму, а в сочетании различных цветов образовывать неповторимый по красоте рисунок. Он может напоминать пейзаж, ветки разнообразных растений, мхи. Благодаря тому, что эти включения размещаются в теле хорошо просвечивающего агата, то рисунок может приобретать особую глубину и казаться трехмерным.

Серебро 925 пробы: сплав серебра и меди, марка сплава SpM925. Цвет сплава такой же, как и у чистого серебра, однако, механические свойства значительно выше. Сплав пригоден для эмалирования и чернения.

Поиск образа для декорирования агата рассмотрели по 3 направлениям:

- украшение в классических стилях
- виды орнамента
- фантазийные формы

Образ разрабатывался для кольца из одного или трех камней и для кулона из крупного камня.

Колье – шейное украшение с явно выделенной центральной частью.

Кулон – ювелирное украшение, надеваемое на шею. Разновидность подвески. [2]

Технология изготовления предполагаемых изделий были выбраны литье по выплавляемым моделям и пайка.

Украшение в классическом стиле:

Модерн.

Для модерна характерны извилистые, плавные очертания с явной тенденцией к ассиметрии. [3]



Рис.2 Колье «Модерн». Автор Пустозерова Ольга.

2) Романский стиль.

За образ был взят орнамент плетенка.

Сложный и издревле распространенный мотив плетенки известен еще со времен палеолита и получен, по всей вероятности, путем вдавливания в глиняную форму веревки. [4]



Рис. 3 Романский орнамент. Плетенка.



Рис.4 Колье «Плетение». Автор Пустозерова Ольга.

Украшения по виду орнамента:

1. Растительный орнамент

Растительный орнамент составляется из стилизованных листьев, цветов, плодов, веток и т.п.



Рис.5 Кулон «Кувшинка». Автор Пустозерова Ольга.

2. Геометрический орнамент

Геометрический орнамент состоит из точек, линий (прямых, ломаных, зигзагообразных, сетчатопересекающихся), и фигур (кругов, ромбов, многогранников, звезд, спиралей и др).



Рис. 6 Колье «Угловое течение». Автор Пустозерова Ольга.

Фантазийные формы:

3. Рамочный.

Рамка - декоративное обрамление охватывающее края изделия (картины, фотографии, драгоценных камней и т.д.) [2]



Рис. 7 Кулон «Капля жизни». Автор Пустозерова Ольга.



Рис. 8 Кулон «Плавность». Автор Пустозерова Ольга.

Каркасный.

Каркас - (от франц. carcasse - скелет) - остов (скелет) какого-либо изделия, состоящий из отдельных скрепленных между собой элементов (стержней). Определяет форму изделия. Выполняется из дерева, металла, железобетона и других материалов.



Рис. 9 Колье «Лабиринт». Автор Пустозерова Ольга.

Литература:

1. [www.goldjuvelir.ru](http://www.goldjuvelir.ru)
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. Кухта М.С., Жукова Л.Т., Гольдшмидт М.Г. Основы дизайна. Томск: Изд-во ТПУ, 2009 – 300 с.
4. Н.С.Ворончихин,Н.А.Емшанова. Орнаменты.Стили.Мотивы <http://bibliotekar.ru/ornamenty/74.htm>

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БИОНИКИ И ДИЗАЙНА

Сайкина Ю.А., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30

Email: saikina\_93@mail.ru

Данная статья посвящена вопросу гармонизации взаимодействия человека и предметной среды за счёт усиления принципов бионики в дизайне.

Необходимо исследовать возможности восстановления равновесия между техническим прогрессом и человеком как явлением природы с помощью усиления взаимодействия бионики и дизайна.

Для анализа ситуации необходима терминологическая определённость.

Проще с термином «бионика». Бионика (от греч. *bion* - элемент жизни, буквально - живущий) - наука, пограничная между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Стронники бионики считают, что всякое природное создание — будь то дерево или птица — представляет собой оптимальную структуру с точки зрения выживания и функциональности.

➤ Различают : биологическую бионику - изучающую процессы, происходящие в биологических системах;

➤ теоретическую бионику - строящую математические модели этих процессов;

➤ техническую бионику - применяющую модели теоретической бионики для решения инженерных задач.

С термином «дизайн» сложнее. Важно иметь в виду, цель, ради которой это термин вводится. По терминологии дизайна написано много литературы, но именно целевая составляющая термина, как правило, даётся слабо [1]. Наиболее чёткое определение дизайна с позиций цели даёт В.Л. Глазачев [2]. По его мнению, с точки зрения капиталиста, дизайн – это хозяйство, с помощью которого достигается максимальная прибыль. С точки зрения общества, дизайн – это система формообразования предметной среды с целью гармонизации взаимодействия её и человека. Такую систему и будем называть принципом дизайна.

В данной статье именно с позиции общества будет рассматриваться взаимодействие бионики и дизайна в формообразовании предметной среды.

Основу теоретической бионики составляют исследования по моделированию различных биологических организмов. Однако, моделирование имеет свои ограничения. В немецком языке аналог – симуляция, а в английском – имитация, т.е. основу моделирования может составлять не копирование и развитие, а только сохранение облика объекта.

В основе моделирования лежит принцип вторичности в соответствии с программой, находящейся вне объекта исследования, а в основе развития биологического объекта лежит программа, находящаяся внутри него. Поэтому всегда будет

открытым вопрос достоверности получаемых результатов моделирования.

Идея применения знаний о живой природе для решения инженерных задач принадлежит Леонардо да Винчи, который пытался построить летательный аппарат с машущими крыльями, как у птиц – орнитоптер. Леонардо да Винчи считают родоначальником бионики, так как он выдвинул первый из принципов этой науки – присмотреться к методам природы. Соответственно, первый принцип бионики – методы природы разумно использовать в технике.

Автоматически появляется два принципа, подчерпнутые в природе: второй принцип – минимизация затрат в реализуемых технических объектах; третий принцип – разнообразие форм – широко используется в дизайне.

Первый принцип бионики, разрабатываемый в технической бионике, позволил получить интересные изобретения, такие как застёжки-липучки или крепления-присоски. В технической бионике решения-подсказки, лежавшие на поверхности, на данный момент уже использованы. Исследования идут вглубь. Изучаются биологические объекты на микроскопическом и на наноуровне [3].

В настоящее время в технической бионике активно развиваются два направления: нейробионика и архитектурно-строительная бионика.

В нейробионике с помощью радиоэлектронных приборов изучаются неврологические характеристики животных. И на их основе пытаются разработать алгоритмы управления живыми организмами. Подобные опыты проводились и в СССР.

Непонятна цель разработки алгоритмов управления живыми организмами. Если под организмом понимать человека, то с точки зрения общества такие разработки безразличны.

Пограничным к нейробионике является направление – разработка приборов, основанных на использовании эффекта Кирлиан.

Весомые результаты достигнуты в архитектурно-строительной бионике и в формообразовании объектов дизайна.

Фактически взаимодействие бионики и дизайна началось задолго до образования науки бионики как таковой. Именно такое взаимодействие в плане формообразования объектов дизайна осуществлялось в стиле модерн.

При сравнении рис. 1 и рис. 2, т.е. реальный парк и Парк Гауди, видно, что дизайнер подметил в природе индивидуальность деревьев, выстроенных вдоль плавной непрерывной линии.



Рис. 1. Реальный парк



Рис. 2. Парк Гауди

Сочетание близости и индивидуальности объектов природы и плавности непрерывных линий контура создаваемого экстерьера – всё это результат взаимодействия будущей науки бионики и дизайна. Такой подход позволил создать множество впечатляющих объектов арт-дизайна.

Исследование строения кости и выявление структуры линий (рис. 3), которые в технике называют силовыми линиями, позволило оптимизировать конструкцию башни, проектируемой Эйфелем (рис. 4).

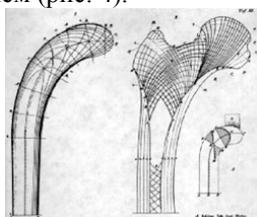


Рис. 3. Строение кости



Рис. 4. Башня Эйфеля в стадии строительства

При проектировании башни использовано следующее свойство, почерпнутое в природе – форма ствола дерева соответствует форме балки с распределением сечений, имеющих равную прочность. Использование двух идей, взятых из природы, позволило создать технический объект, который можно назвать шедевром дизайна.

Развитие технологии создания современных материалов, а также технологии их обработки позволяет всё чаще отказываться от прямых линий в интерьере помещений в угоду психике человека. Исследование особенностей психики человека с целью выявления комплиментарных ей форм расширяет возможности формообразования объектов дизайна. Большой ассортимент ручного механизированного инструмента позволяет реализовать почти на индустриальном уровне практически любые объекты интерьера или экстерьера (рис. 5) и даже автомобилей (рис. 6), форма которых подсказана природой.



Рис.5. Интерьер в стиле бионики



Рис.6. Автомобиль в форме рыбы

Однако, в случае с автомобилем уже чувствуется отход от второго принципа бионики – сокращение затрат в реализуемом техническом объекте, так как приведённый автомобиль имеет далеко не лучшую аэродинамику.

Ещё более наглядным примером отхода от принципов бионики является строящаяся в Шанхае башня, которая после завершения строительства будет иметь форму кипариса высотой 1128 м с обхватом у основания 133 на 100 м., а в самой широкой точке 166 на 133 м. В башне будет 300 этажей, и расположены они будут в 12 вертикальных кварталах по 80 этажей. Между кварталами — перекрытия-стяжки, которые играют роль несущей конструкции для каждого уровня-квартала. Внутри кварталов — разновысокие дома с вертикальными садами.



Рис.7. Реальный кипарис



Рис. 8. «Китайский кипарис» в проекте

Данное строение входит в вопиющее противоречие с принципом бионики – минимизация затрат в реализуемом техническом объекте. Затраты материала на оболочку в таком небоскрёбе растут пропорционально высоте, и соответственно падает эффективность такого сооружения.

#### Выводы:

1.Сегодня, после длительного процесса дробления научных дисциплин, только начинает обозначаться потребность в такой организации знаний, которая позволила бы охватить и объединить их на основе единых всеобщих принципов. И взаимодействие бионики и дизайна здесь занимает особое положение.

2.Соблюдение принципов бионики и дизайна позволяет гармонизировать взаимодействие человека и создаваемой им предметной среды. Несоблюдение этих принципов разрушает равновесие между техническим прогрессом и человеком как явлением природы.

#### Список литературы:

1. Кухта М.С. Основы дизайна / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 288 с.
2. Глазычев В.Л. О дизайне. Очерки по теории и практике дизайна на западе. М.: Искусство. 1970, 192 с.
3. Мальцев П.П. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. – Москва: Техносфера, 2006. -152с.

## ПРОЦЕДУРНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ 3D ОБЪЕКТОВ В ДИЗАЙНЕ

Семенihin Д.В

Научный руководитель: Соколова М.Л, д.т.н., профессор  
 Московский государственный университет приборостроения и информатики.  
 Г.Москва, ул.Стромынка,20.

E-mail: [semj.on@bk.ru](mailto:semj.on@bk.ru)

При разработке и моделировании различных художественных и промышленных изделий в пакетах компьютерной графики, предназначенных для проектирования трёхмерных объектов, зачастую возникает потребность внесения определённых изменений в текущую модель. Скорость внесения изменений напрямую зависит от методов и подхода к созданию объекта. Существует много способов моделирования, таких как полигональное, сплайновое, параметрическое и производные от них. Но подходов к моделированию по сути можно выделить два, процедурный и непроцедурный.

1) Создать процедурный сет ап цепочки, таким образом, что бы при изменении её длины число звеньев так же увеличивалось.

2) Заложить возможность изменения кривизны и ориентации цепочки.

выполнение:

1) Экпортирую имеющуюся полигональную модель одного звена (Рис.1). Ничего не мешает подобную модель сделать и в Houdini процедурным методом и иметь дополнительные возможности по изменению её дизайна. Но это не цель данной статьи.

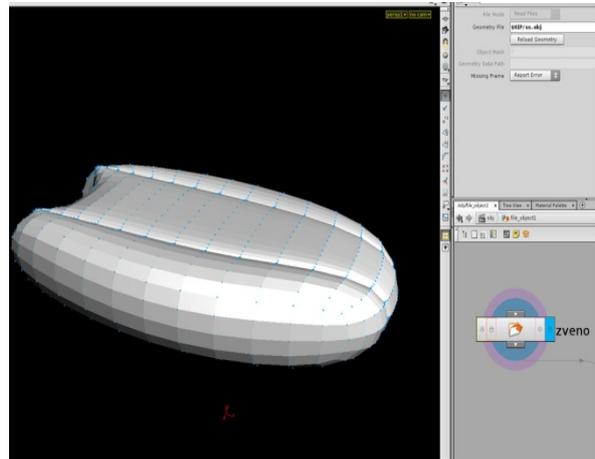


рис.1. Модель звена

2) Создаю прямую NURBS линию и при помощи выражений делаю зависимость между длиной прямой и количеством точек. При увеличении длины, будет сразу увеличиваться и количество точек (Рис.2,рис.3).

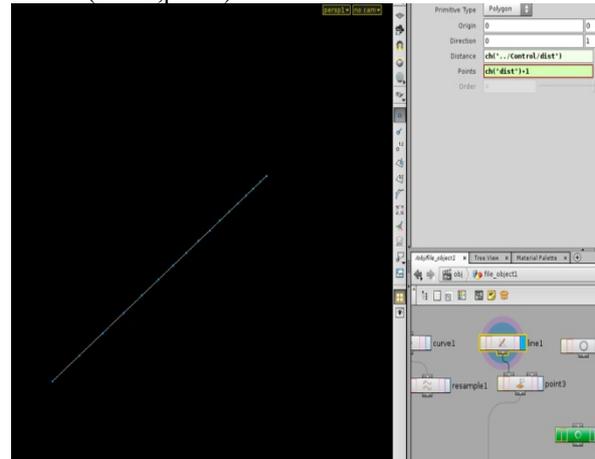


Рис.2. NURBS прямая

Таблица 1. Сравнительная таблица возможностей

Из этой таблицы можно сделать вывод, что процедурный подход имеет свои недостатки, но по

	Скорость моделирования	Простота в понимании	Скорость внесения изменений	Вариативность моделирования	Возможность построения сложных зависимостей
процедурный	+ -	-	+	+	+
непроцедурный	+	+	-	-	-

совокупности всех достоинств он даёт значительное преимущество в процессе создания проекта.

Также возможно сочетать эти два подхода. Например, построить модель привычным способом, будь то полигональное моделирование или сплайновое, и потом внедрить в сетку построения модели элементы которые позволят сделать её процедурной.

Процедура представляет собой некий закрытый механизм который выполняет определённые вычисления заданные пользователем и выдаёт предсказуемый и ожидаемый результат. Имеет вход, выход и интерфейс управления. Каждая процедура предполагает обработку определённых данных предсказуемым образом .

Далее на примере небольшой сцены в программе Houdini master компании Side FX я покажу принцип процедурности.

Задача будет следующая:

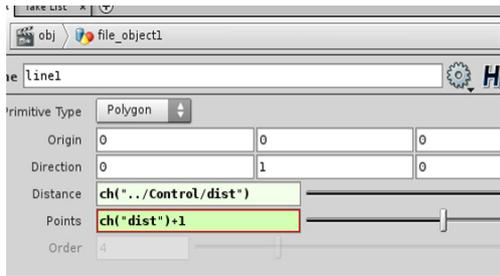


Рис.3. Экспрешен функции

3) Задаю кривой искривление по  $\sin$  относительно оси Y с амплитудой 20.

4) Выравниваю нормали точек вдоль получившейся кривой, для того что бы при изменении значений кривизны ориентация звеньев не менялась.

5) Копирую по точкам кривой звено. Значит к каждой точке кривой относиться одно звено (Рис.4).

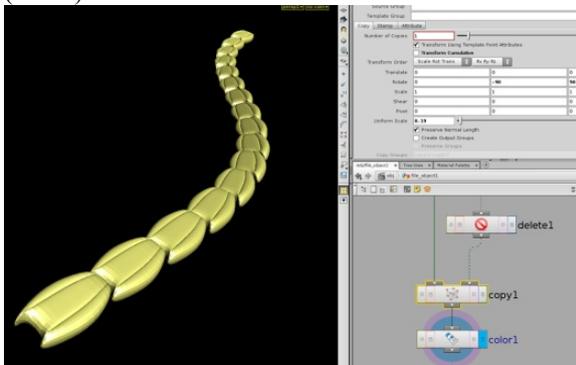


Рис.4. Копирование звена по кривой

6) Создаю управляющий контроллер, который позволит удобно менять длину цепочки, и её кривизну (Рис.5). В данный момент цепочка искривлена по  $\sin$  оси Y.

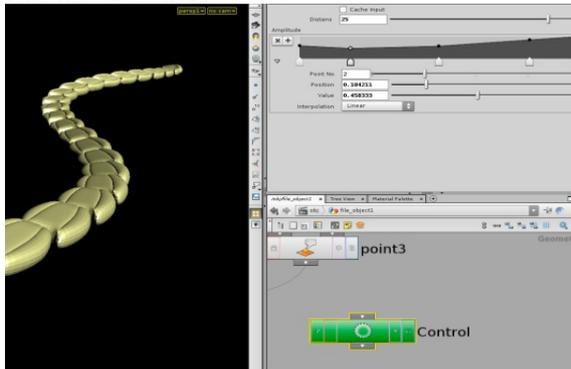


Рис.5. Контроллер кривой

Теперь длину и кривизну цепочки можно свободно варьировать без особых усилий и с предсказуемым результатом.

Но самое главное, что можно к получившейся сетке вместо имеющегося звена подсоединить любую другую модель и результат будет предсказуем. Пример (Рис.6).

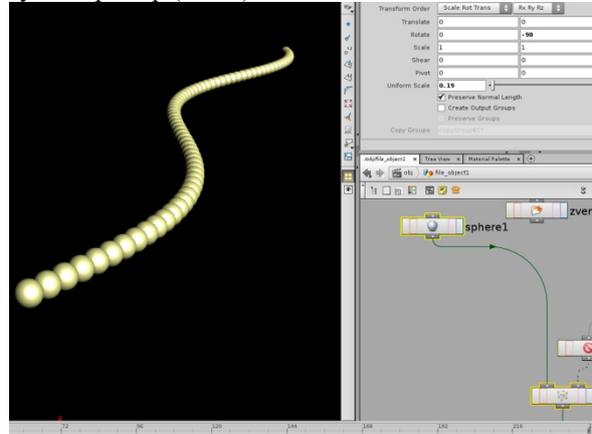


Рис.6. Копирование сферы по кривой

Или можно пустить цепочку по любому другому пути (Рис.7). Все изменения делаются в 1-3 операции и меньше чем за минуту.

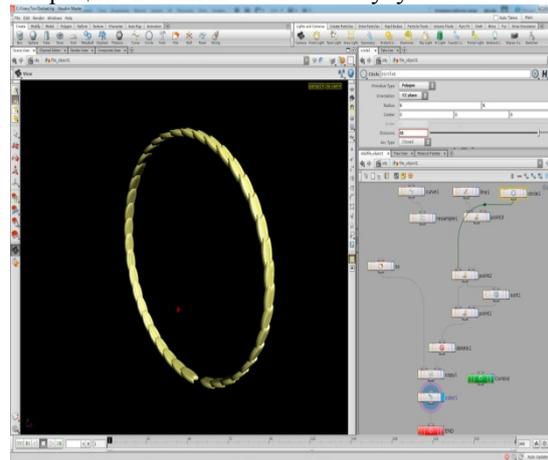


Рис.7. Копирование звена по окружности

Некие процедурные возможности моделирования доступны в различных программах трёхмерной графики, например модификатор FFD в 3d Max, но они настолько примитивны что не позволяют при их помощи создавать сложные объекты и используются как вспомогательные инструменты.

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МРАМОРОВ ДЛЯ ПОРТАЛОВ КАМИНОВ РАЗЛИЧНОГО ДИЗАЙНА

Сукманов А. А.

Научный руководитель: Куманин В. И., д.т.н., профессор  
Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики, 107996, Россия,  
г. Москва, ул. Стромынка, д. 20  
Email: [st150@mail.ru](mailto:st150@mail.ru)

Одним из наиболее распространённых материалов, используемых дизайнерами при декорировании как интерьеров, так и экстерьеров, а также при проектировании отдельных предметов декора, например, при дизайне порталов каминов, является природный камень. Мрамор, относящийся к категории поделочных камней (по классификации В. Я. Киевленко), благодаря его качествам используется значительно чаще и в больших объёмах чем другие горные породы.

Цель: проанализировать какую окраску придают различные примеси в составе пород мрамора, выбрать наиболее подходящую породу мрамора для проектируемого портала камина.

Дадим точное определение мрамору, основываясь на определениях науки геммологии. Мрамор - метаморфическая горная порода, состоящая в основном из минералов кальцита  $\text{CaCO}_3$  или доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , кристаллическая горная порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации известняка или доломита [1]. Благодаря тесному сцеплению зерен кальцита между собой порода хорошо полируется. В технике и строительстве мрамором называют любую карбонатную породу, удовлетворительно поддающуюся полировке, – известняк, доломит или мрамор.

Основными критериями для дизайнеров при выборе материала декора являются его декоративные, эстетические и физические свойства. Все эти свойства напрямую зависят от химического состава материала.

Чтобы понять какую часть состава мрамора занимают примеси, а также определить химический состав и основные физические свойства минерала мрамора рассмотрим таблицу 1. (Таблица 1. Химический состав мрамора) и таблицу 2. (Таблица 2. Физические свойства минерала мрамора). К другим важным физическим свойствам относятся - мрамор пластичен, легко поддается полировке и шлифовке. Он достаточно вязок и прочен, поэтому при ударах сразу не раскалывается, позволяя высекать изделия самой различной формы. [2].

Химический состав		
$\text{CaCO}_3$	%	97-99
Примеси других минералов, а также органические соединения	%	1-3

Таблица 1. Химический состав минерала мрамора.

Физические свойства		
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	2300-2900
Сопротивление сжатию	МПа	от 50 до 250
Коэффициент преломления		1,60
Твёрдость по шкале Мооса		2,5-5
Водопоглощение	%	от 0,15 до 0,50

Таблица 2. Физические свойства минерала мрамора.

Окраска мрамора обычно светлая (Рис.1. Белый мрамор), однако присутствие даже долей процента примесей – силикатов, оксидов железа и графита – приводит к окрашиванию породы в разные цвета и оттенки, включая желтый, коричневый, красный, зеленый и даже черный; бывают и пестрые, разноцветные мраморы[3].



Рис.1. Белый мрамор.

Исходя из данных таблицы 1. (Таблица 1. Химический состав мрамора) мы видим, что примеси занимают лишь малую часть состава мрамора, колеблющуюся от 3-х процентов и менее. Однако этого незначительного количества примесей достаточно для формирования огромного разнообразия оттенков цветов мрамора.

В таблице 3. (Таблица 3. Окраска мрамора в зависимости от примеси) мы видим некоторые из возможных закономерностей влияния различных примесей на оттенок окраски мрамора. Данные таблицы выведены путём определения химического состава разноцветных образцов пород мрамора.

Примесь	Цвет
Оксид железа или марганца	Красный
Высокодисперсный сульфид железа	Сине-чёрный
Железосодержащие силикаты (особенно хлорит и эпидот)	Зелёный
Лимонит (гидроксиды железа) и карбонаты железа и марганца	Жёлтый и бурые тона
Битум или графит	Серые, голубоватый и черный

Таблица 3. Окраска мрамора в зависимости от примеси.

На основании вышеприведённых данных сделаем основные выводы. Наличие даже незначительного количества примеси в составе породы мрамора приводит к приобретению мрамором определённой окраски. Необходимо заметить, что даже одна и та же примесь приводит не к одинаковому, а лишь близкому по оттенку цвету породы мрамора, потому как процентное содержание примесей всегда различно. Также в состав породы могут входить сразу несколько примесей, что придаёт ещё большее смешение оттенков. Эти особенности и придают природным камням богатейшее разнообразие и неповторимость окраски.

В дизайне портала камина спроектированного мной (Рис.2. Портал камина, спроектированный автором) я применил зелёный мрамор («Spider Green», страна добычи - Индия), в составе которого преобладают примеси железосодержащих силикатов (по данным Таблица 3. Окраска мрамора в зависимости от примеси).



Рис.2. Портал камина, спроектированный автором.

Форма рисунка этой породы мрамора – пятнисто-полосчатая, каждый участок мрамора содержит свой природный рисунок. При выборе материала изделия мною также были рассмотрены варианты сочетания тёмной породы мрамора с белой («Dark Imperador», Испания и «Коелга», Россия соответственно) и белой породы с оранжевой («Коелга», Россия и «Crema Marfil», Италия, соответственно) (Рис.3. Варианты сочетаний пород мрамора в портале камина).

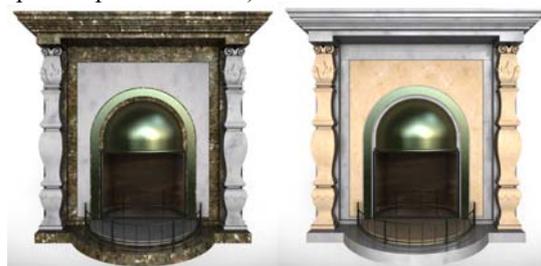


Рис.3. Варианты сочетаний пород мрамора в портале камина.

Однако, так как стиль проектируемого камина готический, то мною был утверждён вариант с использованием одной породы мрамора тёмно-зелёного цвета, наиболее ярко отвечающей этому стилю[4]. Портал камина часто задаёт стиль всего декора в интерьере, портал спроектированный мной идеально подходит, например, для помещений гостиных загородных домов, больших залов с высокими потолками. Великолепным сочетанием к данному portalу являются решётка и купол выполненные в технике «искусственного состаривания».

#### Литература:

1. <http://www.catalogmineralov.ru> ;
2. Митрофанов Г. К., Шпанов И. А., Облицовочные и поделочные камни СССР, — М., 1970 г. — 123, 155;
3. «Минералы и самоцветы», «Novara Istituto Geografico De Agostini», — It., R., 1996 г. — 78;
4. Джил М. Гармония цвета в дизайне интерьера. — М., Росмэн, 2007 г. — 312 с.

## ОСВЕЩЕНИЕ ИКОН В ЭКСПОЗИЦИИ НОВГОРОДСКОГО МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА

Тимон В. Г.

Научный руководитель: Володина Т. В., кандидат искусствоведения, доцент  
Новгородский Государственный Университет имени Ярослава Мудрого,  
173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д.41

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

Свет – необходимое явление всего живого. Без источника света невозможна жизнь. Все стремится к свету и освещается только светом. Именно благодаря игре света и всевозможному освещению мы можем видеть предметы в разных ракурсах, разглядеть важные детали, уловить палитру красок и чистоту изображения.

Свет важен и для восприятия произведения искусства. Только при определенном освещении скульптура, картина, архитектурное сооружение раскрывает себя наиболее полно и интересно. Именно поэтому световое оформление имеет безусловное значение в галереях, музеях и выставках. Во все времена изобретатель, художник, творец экспериментировал с освещением. Световое решение являлось столь же важной задачей при представлении работы, как и сам сюжет.

В случае с иконой возникает необходимость передать не только внешнее совершенство объекта, но и его духовное начало, возвышенное, умиротворяющее, вызывающее три неизменных составляющих: веру, любовь и надежду. Человек, созерцающий икону должен иметь эту возможность не только в храме, но и в музее. Освещение помогает правильности восприятия этого одновременно и сакрального, и художественного объекта.

Подлинное произведение искусства сохраняет свою красоту при любом освещении – естественном или искусственном. В тусклом свете будет видна загадочность. В умеренном – возможно разглядеть явные черты указанные автором-художником. В правильном – возможно различить как общее решение образа, так и не всегда сразу же бросающиеся в глаза детали.

*Правильное освещение* – это использование лучистой энергии, вызывающей световое ощущение, для обеспечения благоприятных условий видения и психофизиологического комфорта человека.[1] В самом начале мы уже указали, что свет – это жизнь. И жизнь не только для физических организмов, но и для художественных изображений. Картина или икона предстают перед глазами ожившими

образами, содержащими в себе смысл явного или тайного замысла.

Для оживления и разностороннего взгляда на живопись или иконопись важно грамотно подобранное освещение внутри стен музея. Выразительность изображения может также придавать цветное освещение, тем самым выявляя тот или иной цвет нанесения более ярким и играющим. Существует ряд комбинаций подсветок, что положительно влияет на взгляд и впечатления зрителя. Это могут быть комбинации естественного и искусственного освещения в процентном соотношении, это может быть комбинация только искусственного освещения с элементами игры цвета. Для помещений разного назначения должен подбираться отдельный цвет освещения, что оказывает благоприятное психологическое воздействие и вызывает положительные эмоции у созерцателя.[2]

Контроль условий освещения производится путем проведения светотехнических расчетов или измерения освещенности с помощью люкметров, яркометров или радиометров. Качественные характеристики освещения, которые также регламентируются нормами (равномерность освещения, допустимый уровень пульсации освещенности и яркостного дискомфорта), проверяются расчетными методами, изложенными в справочной литературе и соответствующих методических указаниях.[3] Этим правилами также следует руководствоваться при подборке освещенности икон.

К освещению икон нужно подойти особому, учитывая, для какой среды икона писалась, в какой атмосфере она должна была находиться. К примеру, для сакрального бытия иконы необходимо такое освещение, для которого и при котором она была создана: неровный, мигающий, трепетный свет лампы, проходящие через цветное стекло пучки света внешнего, т.е. смешанное искусственное освещение. Будучи написана в полутемной келье, икона оживает только в соответственных же условиях, она может омертветь в равномерном холодном и сильном освещении музея. Колорит и примитивизм иконы, обилие

на ней золота и самоцветов, шитые жемчугом бархатные и парчовые пелены — все это рассчитано на церковное освещение, позволяющее усмотреть в ликах святых «живые явления иного мира».[4]

В музейной экспозиции наиболее подходящим нам кажется освещение икон с помощью светодиодных и оптоволоконных светильников. Во-первых, тонкий приглушённый свет светодиодов и оптоволоконка позволяет видеть изображения такими, какими они воспринимались бы в церкви. Во-вторых, для дополнительной защиты иконы её зачастую помещают под стекло, и именно светодиоды и оптоволоконка, имея долгий срок службы и лёгкую замену источников питания, обеспечивают бесперебойное освещение музейного экспоната, в-третьих, у этих светильников отсутствует вредное ультрафиолетовое излучение.

Икона должна быть высвечена индивидуально, погружая посетителя в ту или иную историческую и культурную эпоху, воздействуя на эмоциональную сферу.

Основные требования к музейному освещению иконы:

1. Обеспечение хорошей цветопередачи;
2. Эстетичность;
3. Защита от воздействия ультрафиолетового и инфракрасного излучения;
4. Сохранение светотехнических характеристик на протяжении всего срока эксплуатации;
5. Лёгкость замены источников света.

Спецификой музейного освещения, на примере экспозиции Новгородского музея-заповедника является необходимость защиты освещаемых экспонатов от разрушающего действия инфракрасного и ультрафиолетового излучения.

С этой целью наряду с использованием малоактивных источников света, применяются многослойные покрытия, наносимые на оптические элементы светильников, а также спе-

циальные поглотительные фильтры. Эти меры обеспечивают значительное снижение теплоотдачи и вредного воздействия света на экспонаты.[5]

Созданным в Новгороде иконам присущи необычайно «звонкие» и яркие краски.[6] Благодаря этим открытым краскам иконы получают способность светиться и в полутёмных интерьерах храмов. Нередко чистые цвета сопоставляются друг с другом по контрасту: красные - синие, белые - чёрные. Они плотны, вещественны, почти весомы и осязаемы, что несколько ограничивает их светозарность. Вместе с тем они сообщают иконе большую силу выражения.

В Новгородском музее выдержаны жесткие требования к подаче света, что обеспечивает сохранность экспоната, выявление высочайшей эстетической ценности иконы, в залах музея посетитель чувствует комфортное состояние, лёгкость просмотра. Созерцание и рефлексия увиденного происходит в обстановке, которая является наиболее благоприятной для дальнейшего размышления и желания вернуться вновь в мир красок и света.[7]

#### Список литературы:

1. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М., 1983
2. Гигиена окружающей среды. Под ред. Г.И. Сидоренко. М., 1985. С. 189
3. Флоренский П.А. Храмовое действо как синтез искусств. М., 1922, № I. С. 31
4. Малая медицинская энциклопедия. М.: Медицинская энциклопедия. 1991 - 1996.
5. [http://www.apxu.ru/article/interior/ocve/mainque/ocveqenie\\_ikon.htm](http://www.apxu.ru/article/interior/ocve/mainque/ocveqenie_ikon.htm)
6. <http://nesusvet.narod.ru/ico/ref/history.htm>
7. <http://novportal.ru/content/view/179/334/>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА

Токарев В. Е.

Научный руководитель: Володина Т. В., кандидат искусствоведения, доцент  
Новгородский Государственный Университет имени Ярослава Мудрого,  
173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д.41

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

Вопрос о применении цвета в проектировании объектов графического дизайна, т.е. о практическом применении колористики встает все чаще и чаще в среде дизайнеров. Необходимый рациональный расчет применения цвета в композициях помогает дополнить широко используемый эмпирический способ нахождения цветовых решений. Иначе говоря, при практическом проектировании объектов графического дизайна необходимо знать основные правила и зависимости, на которые опираются выбор тех, или иных цветовых и тоновых соотношений между элементами композиций, шрифтами и изображениями. Это вкупе с развитым чувством цвета и соответствующим опытом, вносящим поправки в теорию, дает возможность получить более уравновешенные и приятные продукты графического дизайна, вызывающие определенные чувства и ассоциации у зрителя (покупателя, пользователя).

Основой для предмета колористики являются представления о свете и цвете известного модернистского художника и теоретика Иоханнеса Иттена.

Иттен выделяет цвета в двенадцатичастный цветовой круг, каждый из цветов которого находится в строгой зависимости от другого. В общем круг описывает взаимодействия цветов в законах.[1]

Похожее представление о цвете имел также Вильгельм Оствальд, с единственной разницей, его модель не делилась на сектора, являясь плавным круговым замкнутым цветовым переходом.

RGB и CMYK по сути предназначены для работы с визуализацией цвета на мониторе и печати. Они представляют собой системы перевода привычного цвета на язык механических устройств визуализации. Для RGB это цвета, участвующие при получении цвета на мониторе, а для CMYK цвета печатных головок (каналов, цветовых форм) печатающего устройства. Поэтому при переходе от одной модели к другой необходима конвертация, т.к. печать в формате RGB может привести к искажению и потере необходимых цветов.

HSV( HSB) — это модель, за основу которой взято нелинейное преобразование RGB. Цвет, представленный в HSV, зависит от устройства, на

которое он будет выведен, так как HSV — преобразование модели RGB, которая тоже зависит от устройства. Особый интерес к данной модели вызван тем, что с помощью ее переменных — оттенка, насыщенности и яркости, можно вести тонкий поиск оттенков цвета, быстро находить родственные цвета и тона, перемещаясь в диапазоне оттенков.

Lab однозначно определяет цвет. Поэтому он нашел широкое применение в программном обеспечении для обработки изображений в качестве промежуточного цветового пространства, через которое происходит конвертирование данных между другими цветовыми пространствами (например, из RGB сканера в CMYK печатного процесса). При этом особые свойства Lab сделали редактирование в этом пространстве мощным инструментом цветокоррекции.

Lab предоставляет возможность избирательного воздействия на отдельные цвета в изображении, усиления цветового контраста, незаменимыми являются и возможности, которые это цветовое пространство предоставляет для борьбы с шумом на цифровых фотографиях.

В основе любой цветовой композиции лежат законы соотношения цветов и их сочетаний, их взаимное положение распространение и влияние на плоскости композиции. На практическом языке дизайнера эти соотношения называются контрастами. Обычно контраст это то, что делает монотонную композицию узнаваемой, воспринимаемой и придает ей свойства статики или динамики, подчеркивает применяемые шрифты и изображения, их читаемость и чистоту.[2]

На цветовом круге можно рассмотреть большинство соотношений.

Противоположные цвета (дополнительные) формируют самые сильные отношения, на базе этих комбинаций строятся все сильные и эмоционально активные цветовые композиции. Нечистые соотношения грозят плохими впечатлениями о композиции у зрителя или пользователя. Для всех соотношений чистых цветов существуют пропорции распространения, нарушение которых вызовет ясный диссонанс.

Родственные цвета дают намного более мягкие и уравновешенные сочетания, не вызывают таких противоречий и эмоционального напряжения, использование оттенков холодной или теплой гаммы даст пользователю (зрителю) дополнительную семиотическую составляющую, которая будет характеризовать проект и подчеркивать композиционный смысл.[4]

«Гармонии треугольников» определяют в цветовом круге триаду цветов, которые теоретически будут хорошо выглядеть вместе. Но на практике чаще приходится встречаться с некоторым диссонансом цветов в данных триадах. Для использования данных цветовых приемов скорее всего необходимо побочное сочетание с другими контрастами, для ослабления влияния пары цветов. Необходимо выбрать ведущий, остальные цвета желательно ослабить по тону, насыщенности, или применить в относительно малом пропорциональном количестве к ведущему цвету. В любом случае, выбирая главный цвет необходимо основываться на психологических аспектах восприятия, семиотических метафорах и, что самое главное, на практической применимости цвета в контексте стиля, функции и общего вида и предназначения композиции (книга, журнал, графический пользовательский интерфейс, плакат или рекламная продукция и т.д.).

«Гармония прямоугольника» предоставляет возможность взять за основу четыре цвета, при этом цвета на концах диагоналей будут контрастны, другие два цвета — родственно контрастны, правила применения метода сходны с предыдущим.[5]

Также существует ряд источников, откуда можно почерпнуть готовые цветовые соотношения на основе любых цветов. Очень удобные таблицы цветовых контрастов есть в книге Л. Савахата «Гармония цвета. Справочник».[3] Во Всемирной Сети тоже можно найти удобные ресурсы поиска цветовых соотношений, самые лучшие: <http://www.colorexplorer.com> <http://kuler.adobe.com>.

С эволюцией у человека выработались стойкие психо-физиологические рефлексы на определенные цвета. Именно поэтому необходимо грамотно использовать цвет для выражения смысла и поддержки функционального назначения объекта дизайна. Известно также об имманентности цвето-

восприятия, субъективном понимании цвета персоне, которое характерно только ей, как отпечатки пальцев. Иттен выявил, что светловолосые и светлокожие люди выражают себя чаще через светлые цвета в большом количестве промежуточных чистых ослабленных по яркости тонов. В отличие от них темноволосые или смуглые люди характерно применяют темные тона. Наконец, рыжеволосые люди относятся с теплотой к сочным и ярким неразбавленным цветам, ярким сочетаниям. Можно заявить, что цветовое восприятие коррелирует с темпераментом или психотипом человека. Люди, предпочитающие яркие тона в одежде, стремятся к выражению своих эмоций в яркой манере, привлечению других людей к своей персоне, насыщенности жизни событиями. Наоборот, люди, которые носят неяркую одежду средних тонов, стремятся обрести некое состояние покоя.[1]

Существуют цветовые стереотипы, которые характерны, однако, людям определенной культурно-географической зоны. Яркий пример столкновения двух разных культур и цивилизаций: восприятие цвета европейцами и японцами. Один и тот же белый цвет у одних символ невинности, а у других — смерти и траура.

Цвет в проектировании объектов дизайна важен потому, что он может мгновенно поднять популярность продукта или моментально уничтожить его репутацию. Грамотное употребление цветовых соотношений в объектах графического дизайна позволит увеличить аудиторию пользователей и возможных покупателей продукции.

#### Список литературы:

1. Иттен И. Искусство цвета.- М.: Д. Аронов, 2007 г.-96 с.\
2. МакВейд Д. Дизайн страниц. Before & After.- М.: КУДИЦ-Образ, 2006 г.- 272 с.
3. Савахата Л. Гармония цвета. Справочник. Сборник упражнений по созданию цветовых комбинаций.- М.: АСТ, Астрель, 2003 г.- 192 с.
4. Самара Т. Типографика цвета. Практикум. Как выбрать шрифт.- М.: РИП-Холдинг, Rockport Publishers, 2006 г.- 256 с.
5. Стоун Т.Л., Адамс С., Норин М. Дизайн цвета.- М.: РИП-Холдинг, 2006 г.- 240 с.

## ДЕКОРАТИВНАЯ ОТДЕЛКА ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Топорова В.С., Петрова С.Г.

Научный руководитель: Петрова С.Г., к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
190008, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3  
E-mail: [nikanorka.05@mail.ru](mailto:nikanorka.05@mail.ru)

Чтобы внести изюминку в интерьер, можно украсить его старинными предметами. Для этого нужно либо приобрести вещь, история которой насчитывает более 100 лет (но есть опасность, что состояние ее будет желать лучшего), либо сделать вещь старинной уже сейчас. Метод искусственного декоративного состаривания предметов – патинирование может помочь в этом. Пatina в переводе с итальянского – налет зеленовато-коричневого оттенка, который образуется на меди и бронзе в результате окисления, возникающего под воздействием окружающей среды. Она не только придает предметам индивидуальный художественный образ (ведь два одинаковых изделия по-разному запатинированные могут нести абсолютно противоположный смысл), но и защищает от окружающих факторов. Декоративную ценность патины впервые оценили художники Древнего Рима. В широком смысле патинирование можно применять на изделиях из дерева, гипса, металла, пенополиуретана и т.д. Патинируют самые разнообразные предметы и не только бронзовые, но даже цинковые. Для каждого материала существуют свои составы, краски, лаки. Вся прелесть патинирования заключается в разнообразии цветов и оттенков, которые познаются благодаря опыту, экспериментам и фантазии. Перед тем как подвергнуть изделие патинированию, нужно провести декапирование поверхности, т.е. травление слабым раствором для удаления оксидных пленок и повышения химической активности поверхности.

На сегодняшний день существует несколько видов патины для ДПИ из дерева:

Жидкая – представляет собой лак, который после нанесения на изделие приобретает желтоватый оттенок, создавая эффект старины. Применяется для состаривания картин, мебели.

Густая – паста. Состоит из базовой и финишной патины, в результате их реакций возникает эффект ржавчины, золота.

Фацетный лак – саморастрескивающееся вещество на основе воды самых разнообразных цветов. Чем больше слоев – тем больше трещин (эффект кракле).

Получить патину можно естественным либо искусственным путем.

Естественная патина – оксидно – карбонатная пленка, которая образуется на поверхности

скульптур и декоративных изделий под воздействием окружающей среды.

Искусственная патина – налет, образующийся на памятниках и декоративных изделиях после нанесения специальных веществ. Известно, что

скульптор Роден пользовался услугами патинировщиков.

Существуют сведения, что человек изготавливал изделия из меди еще в 4-3 веках до н.э. С этого момента он сталкивается с патиной постоянно.

Особенно много об этом могут рассказать нам монеты старого образца, на них обнаружены красный, оливковый, землистый, черный и др. оттенки патины. Создание искусственной патины на монетах может производиться и не тривиальными способами, например: запекание монеты в духовке (внутри картофелины), обжигание паяльной лампой, выдерживание в закрытой таре со спичечными головками, в конверте с добавкой серы и т.д.

Большинство металлов чувствительны к окружающей среде. Под воздействием атмосферы медь покрывается специальным защитным слоем (патиной), цвет, интенсивность которого самые разнообразные. Цвет также может зависеть от наклона поверхности: на крышах – зеленый, а на вертикальных поверхностях – коричневый. Скорость образования патины также различна: в городе она образуется за 10 лет, вдали от города – за 20, в горах – за 30 лет. Все зависит от состава окружающей среды. При естественном патинировании образуется зелено-голубая патина, под ней слой куприта (закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ ), который защищает от разрушения и окисления. При реставрации после расчистки металла куприт наносится плазменным напылением.

При атмосферном старении изделий из меди и ее основных сплавов – бронзы и латуни – образуются карбонаты меди: ярко-зеленый малахит  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  и лазурно-голубой азурит  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  для латуни, содержащей цинк, возможно образование зелено-синего розазита состава  $(\text{Cu,Zn})_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ . В домашних условиях можно синтезировать основные карбонаты меди приливая водный раствор кальцинированной соды к водному раствору соли меди медного купороса.

Вначале при избытке соли меди образуется продукт схожий с азуритом, а в конце при избытке соды – к малахиту.

Вблизи морей изделия из меди подвергаются воздействию хлоридов меди. Естественной образованная патина на меди препятствует ее коррозии. Рекордсменом является медная 3-6 мм. крыша собора в Хильдесхайме в Нижней Саксонии, ей более 700 лет.

Для химического патинирования нужен специальный раствор. Для каждого металла и желаемого цвета нужны определенные ингредиенты и условия. Существует множество рецептов патинирующих составов для различных металлов. Какого бы

цвета ни была патина, металл все ровно должен слегка просвечивать из под нее. Пленки коричневых оттенков – однослойны и состоят из оксида меди (также как и естественные), зеленые и голубые искусственные патины – двухслойны. В них первый слой образован оксидом меди, а второй – солями меди. В искусственных патинах редко встречаются карбонаты меди (малахит и азурит), часто – основной нитрат меди. Искусственные пленки более тонкие, пористые, рыхлые чем естественные.

Химическое патинирование можно проводить несколькими способами. Например, с помощью паров нашатырного спирта, с использованием опилок или сульфата меди. Но определенных рекомендаций (время выдержки, температура изделия, температура составов, температура помещения) нет, поэтому нужно экспериментировать.

Особенно часто патинирование используется в реставрации. Мелкие предметы патинируют погружая в раствор полностью, а крупные – смачивают кистью или губкой до равномерного окрашивания.

Варьируя температуру раствора, нагрев предмета, концентрацию раствора, время выдержки можно получить широкий диапазон цветов.

В СССР часто использовался метод перепатинирования – химическое наращивание искусственной патины. При этом снималась вся историческая патина, а вместо нее накладывалась искусственная. Но эта пленка плохо защищала экспонат от образования дикой патины и бронзовой болезни, сульфидная пленка меняла цвет, что приводило к эстетической порче памятника. К тому же при снятии исторической патины уничтожался слой куприта – самый эффективный защитник от окружающей среды.

Различают патину по признаку интенсивности и качества цвета у монет: дикая, «пулевая», радужная, переливчатая. Также в царской России существовала так называемая кабинетная патина. «Кабинетами» назывались шкафчики в которых хранились монеты. Их изготавливали из ценных пород дерева и отделывали бархатом. Патина образовывалась под действием испарений древесины и лаков, которыми покрывались шкафчики.

В ювелирном производстве для украшений из недорогих металлов используют электрохи-

мическое патинирование. Правда эти пленки тонки и требуют слоя защитного лака.

Конечно у каждой технологии свои недостатки (например, неоднородность цвета на большой поверхности, но и в этом можно обнаружить декоративный эффект, увеличение затрат). Зато можно любоваться законченным произведением сразу.

Сегодня патинированная медь применяется в самых разнообразных сферах деятельности: в архитектуре новых объектов, реконструкции, реставрации. В промышленных условиях на классической меди образуется оксидированный слой – точно такой, который образуется в естественных условиях с течением времени под действием окружающей среды. Процесс искусственного декоративного состаривания полностью повторяет процесс естественного образования патины, но в более короткий срок. Цветовая гамма достаточно разнообразна от светло-зеленой до зелено-синей. Теперь не нужно ждать, чтобы крыши, фасады и водостоки облагородились изумрудным цветом.

При реставрации изделий, имеющих патину, особенно необходимо заранее знать точный рецепт получения определенного цвета, его насыщенности, степени прозрачности. Для этого нужно провести ряд экспериментов для выявления зависимости получаемого результата от всех условий (температур раствора, изделия, помещения, концентрации раствора, времени выдержки и другие) патинирования. Это очень важный вопрос, т.к. при реставрации недопустимы эксперименты – они могут привести не только к эстетической потере экспоната, но и к физической при частом «перепатинировании».

#### Список литературы:

1. Архитектурная мастерская D12 [www.d12spb.ru](http://www.d12spb.ru)
2. В помощь мастеру. Ваша энциклопедия ремонта. [www.helpmaste.ru](http://www.helpmaste.ru)
3. Заметки по ремонту. [www.ranax.ru](http://www.ranax.ru)
4. Кузнец. [www.kovka-pro.ru](http://www.kovka-pro.ru)
5. Мастерская ART Conservation [www.art-con.ru](http://www.art-con.ru)
6. Мир Нумизмата. [www.mirnumizmata.ru](http://www.mirnumizmata.ru)
7. Одесский поисково-исторический клуб (ОПИК) [www.search-club.org](http://www.search-club.org)
8. ПРОМАРМАТУРА. [www.86352-69097.ru](http://www.86352-69097.ru)
9. Химия [www.4108.ru](http://www.4108.ru)
10. V.I.P.DECOR Декоративные штукатурки, золочение, роспись. [www.vipdeco.ru](http://www.vipdeco.ru)

## НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В ДИЗАЙНЕ

Третьякова К.Б., Соколов А.П.

Томский Политехнический Университет, Россия, Томск, Ленина 30

E-mail: [Tretyakova-kseniya@mail.ru](mailto:Tretyakova-kseniya@mail.ru)

В современной производстве предметов массового потребления дизайн формы становится знаковой доминантой, определяющей уровень и качество предлагаемого товара. Эффективность действия этой доминанты часто зависит от национальных особенностей формы производимых предметов, а также их композиции в интерьере и экстерьере.

Цель данной работы – анализ национальных особенностей различных объектов дизайна.

В статье решаются следующие задачи:

- исследовать факторы, влияющие на проявление национальных особенностей в различных объектах дизайна;
- определить перспективные направления усиления национальных особенностей дизайна.

Дизайн многогранен, однако, во всех видах дизайна содержатся элементы планирования и организации, структуры, последовательности действий, так или иначе характеризующие проектирование. Выделяют следующие основные виды дизайна: индустриальный (промышленный дизайн), графический дизайн, дизайн одежды, дизайн среды, компьютерный дизайн, фитодизайн, ландшафтный дизайн, экологический дизайн и т.д.

Во всех видах дизайна в последнее время всё большее внимание уделяется разнообразию форм создаваемых объектов.

Учет национальных корней позволяет расширить возможность формообразования предметов, усилить их художественную функцию. Национальные особенности проявляются в своеобразии изготовления изделий, имеющих одинаковое предназначение. И эти различия часто выходят за рамки чистого декора и распространяются на выбор материалов и способы их обработки. Разные народы далеко не одинаково используют различные возможности.

Технологии меняются быстро, а особенности национального формообразования изменяются гораздо медленнее. На них кроме технологий влияют: условия обитания, климата, менталитета, эпохи, обычаев.

Влияние условия обитания народа на форму предмета и дизайн. Приметы воздействия природных условий можно обнаружить в самых разных областях культуры, архитектуры, одежды, мебели, предметов быта и т.п. Например, на Японию оказало влияние изолированное территориальное положение страны, это выражается в том, что они относятся к природе как живому, ценят пространство. Поэтому они стараются не перегружать внимание. Внутреннее устройство помещений сводит к минимуму мебель и декоративные элементы интерьера помещений и самого дома. Так как у японцев особое отношение к природе, японский

стиль ассоциируется с природными цветами, преимущественно в светлой гамме: оттенки бежевого, белый, кремовый, молочный. Тут нельзя не напомнить, что ландшафты территории запечатлеваются в сознании населяющих людей в виде представления о «родной земле». Некоторые элементы ландшафта либо в виде зрительных образов: береза у русских, тополь у украинцев, сакура у японцев и т. п., либо в сочетании с топонимикой реки Волга у русских, Днепр у украинцев, гора Фудзи у японцев и т. п. становятся своего рода символами национальной принадлежности.

Климат во многом определяет особенности одежды, сада, ведь от климата зависят и растения, и жилища, например лето в Японии жаркое и влажное, поэтому дома строятся так, чтобы по ним свободно гулял ветер. Двери и окна в комнатах обычно раздвижные. В Китае крыши имеют изогнутую форму, для того, чтобы не скапливалась вода. И китайцы верят, что изогнутые линии отгоняют злых духов.

Также Архитектура заметно изменяется по мере того, как меняются эпохи, например, в России при Петре I вначале преобладал прозаичный комфортабельный голландско-немецкий классицизм, но к концу его царствования и особенно при его преемниках стало утверждаться пышное, представительное зодчество барокко. А в Англии долгое время господствовала готика. И только с середины 16 века стал присутствовать стиль Возрождения в архитектуре Англии. К своей «готической составляющей» Архитектура Англии будет так или иначе обращаться в течение всего времени.

Таблица 1. Национальные особенности в архитектуре

Название страны	Краткая характеристика
Россия	Классицизм, барокко, рококо. Использовали для строительства дерево, камень, кирпич
Япония	Используют для строительства дерево.
Англия	Готика. Используют в основном для строительства камень
Испания	Готика, ренессанс, барокко, модерн. Присуще использование камня.
Китай	Изогнутые линии. Используют камень, дерево
Германия	Преобладает готика. Использовали для построения камень.

Менталитет народа влияет на дизайн [1].

Японцы очень осторожно относятся ко всему иностранному, они очень долго держат что-то новое внутри, раздумывают, прежде чем внести из-

менение. Китайцы же наоборот почти не боятся новшеств [2]. Немцы трудолюбивы, для них традиции превыше всего, как и для англичан, поэтому наверно, в дизайне архитектуры долгое время господствует готика. Также им присуща аккуратность, чистоплотность можно заметить, что немецкие сады оставляют ощущение покоя, благополучия, достатка, уравновешенности, газон с растущим на нем клевером, красивоцветущие кустарники. Из скульптурных форм: тролли, зайчики, гномы. Для английского сада присуща сдержанность. Это выражается в пейзаже, и здесь неуместно буйство красок [3]. Для русского народа характерна сила воли, упорство, медлительность, неприхотливость, гостеприимство. И это отражает архитектура России разных эпох, которая изменялась не без влияния других стран: Англии и Франции. Следует отметить русский оптимизм, ведь много национальных ценностей, архитектуры пострадало во время войны, но почти все это восстанавливалось. Наблюдательность, вдумчивость и созерцательность именно эти качества влияют на создания русского ландшафтного дизайна, но на него влияет итальянский ренессанс, барокко и французский классицизм. В усадьбах охотно использовали скульптуру, фонтаны, широкие каменные скамьи. Все экзотические растения сосредоточены в парадной зоне, а в пейзажной части для создания достоверного облика старого парка используются представители местной флоры: живучка ползучая, папоротники, ландыши, медуницы. В самых затененных участках сада высажены растения с пестро окрашенной листвой: зеленчук, виды хост.

Чем больше ручного труда, тем более заметны национальные корни.

Это действительно так. Часто замечаем, что ручное изделие оценивается дороже, чем машинное. В ручном изделии более заметны национальные корни. Например, национальная одежда, чаще всего, отличается краем, вышивкой. Так вот, когда вышит узор в ручную, он сделан кропотливо, а самое главное с душой, точно выражен национальный узор. Тоже с украшениями. Машинное производство, можно сказать, штамповка, где каждая вещь одинакова с предыдущей. Или возьмем резьбу по дереву, машина не выполнит так узор и не выполнит роспись национальной посуды, как русский мастер Я считаю, машинное производство не может совсем заменить ручной труд.

Как бы не изменялся дизайн, какие бы ни вводились новшества, дизайнеры и художники будут возвращаться к национальным корням. Это подобно тому, как человек, уехав со своей родины в другую страну, сколько бы долго он не прожил в этой стране, он все равно будет скучать по своей родине.

Таблица 2. Национальные особенности мебели.

Название страны	Краткая характеристика
Россия	Барокко, сквозной и глухой резьбой, Покрываются росписью. В орнаментике преобладают животные, растительные и геометрические мотивы.
Япония	Строгие геометрические формы.
Англия	Используют дуб.
Испания	Дерево, металл, пластик, светлые тона
Китай	Дерево, украшается росписью
Германия	Мебель с изогнутыми линиями

С помощью национальных особенностей мы можем различать дизайны разных стран, и эти особенности будут проявлять себя до тех пор, пока живут нации.

Выражение И.Сталина «Советская литература – национальная по форме и социалистическая по содержанию» можно перефразировать – русский дизайн национален по форме и функционален по содержанию.

Современное массовое производство опирается на высокопроизводительные технологии, которые вытесняют ручной труд. Соответственно снижается влияние национальных корней в формировании объектов дизайна.

Одновременно массовое производство позволяет тиражировать шедевры русской живописи, в которых национальные корни выражены наиболее четко. Выделяя основную часть этих шедевров можно использовать их в оформлении не только обёрток конфет, но гораздо более широко. Методами полиграфии рисунок можно наносить на поверхности ваз для цветов, посуду, настенные часы, одежду, мебель, здания и т.д.

Более продуктивным является путь такой трансформации высокопроизводительных производств, чтобы они гармонично включали ручное творчество широких слоёв населения.

Для этого население нужно учить. И процесс такого обучения облегчается тем, что выпускаемый ручной механизированный инструмент очень удобен, и приёмы работы с ним легко усваиваются.

Необходимо расширять и пропагандировать появляющиеся национальные особенности. Их демонстрация в объектах дизайна способствует межнациональному общению.

#### Список литературы:

1. [http://katsurini.narod.ru/New\\_Diz/nihon\\_kitai.html](http://katsurini.narod.ru/New_Diz/nihon_kitai.html).
2. <http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-3870/x>.
3. <http://geo.1september.ru/2003/04/9.htm>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВОВ-ОСНОВ ПОД ЖИВОПИСНЫЕ ЭМАЛИ

Федяева Г.Н., Петрова С.Г.

Научный руководитель: Петрова С.Г., доцент, к.т.н.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

E-mail: [fedun07@mail.ru](mailto:fedun07@mail.ru)

Для росписи надглазурными керамическими красками необходима эмалевая основа, обладающая следующими свойствами[1,2]:

- 1- высокой температурой обжига,
- 2- малой растекаемостью,
- 3-высокой степенью блеска,
- 4-низкой реакционной способностью,
- 5-подходящим коэффициентом термического расширения.

Эмаль, служащая фоном для росписи, во-первых, по своим физико-химическим и технологическим свойствам должна соответствовать требованиям, предъявляемым к эмалям-основам, и, во-вторых, в цветовом решении создавать декоративный эффект, соответствующий замыслу художника. Поэтому выбор эмалей основ, которые могут служить фоном для росписи, является сложной задачей.

Для проведения экспериментов над выбранными в качестве эмалей-основ составами были выбраны кремниевое-натриево-калиевые системы[3]. Глушителем в данных эмалях служит фтор.

Исследуемые стекла (с условным обозначением Т-5 и Т-6) согласно электронно-зондовому микроанализу имеют следующий оксидный состав:

Таблица 1

Данные по оксидному составу образцов (масс.%)

Компоненты	Т- 5,%	Т-6,%
SiO <sub>2</sub>	62,8	63,3
Na <sub>2</sub> O	11,1	11,2
K <sub>2</sub> O	8,3	8,0
BaO	6,8	6,1
ZnO	4,6	4,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,6	3,4
CaO	1,5	2,0

В таблице 2 приведены физико-химические и технологические свойства исследуемых эмалей-основ:

Таблица 2

Физико-химические свойства исследуемых составов Т-5 и Т-6.

Свойства	Номера эмалей-основ	
	Т-5	Т-6
Интервал обжига, °С	750-800	750-800
Растекаемость $l/l_{\text{этало́на}}$ , мм.	0,95	1,1
Коэффициент термического расширения, $\alpha \cdot 10^7 \cdot \text{K}^{-1}$	127	124
Химическая	Выдерживает отбел в 10% рас-	

устойчивость	творе лимонной кислоты в течение 15 мин.[3]
--------------	---

Так же был проведен сравнительный анализ термической стойкости составов Т-5 и Т-6 с эмалью ДКЗ № 10. Термическая стойкость проверялась пятью теплосменами. Готовые эмалированные образцы погружались в кипящую воду на 15-20сек., затем вынимались и быстро опускались в воду комнатной температуры. После чего образцы высушивались и просматривались. После проведенных операций поверхность не изменилась, осталась такой же гладкой[4]. Что подтверждает возможность использования составов Т-5 и Т-6 не только в качестве эмали основы, но так же в качестве защитных покрытий.

Для подтверждения пригодности рассматриваемых составов в качестве эмали-основы для живописной эмали были проведены исследования влияния цвета эмали основы на цвет надглазурных красок.

Результаты приведены в таблице 3.

Измерения проводились с помощью спектрофотометра фирмы *GretagMacbeth Spectrolin*» (геометрия измерения 45° / 0°) при источниках освещения А и D<sub>65</sub>, угле наблюдения 2°, без фильтра. Перед измерениями спектрофотометр был откалиброван относительно белого стандарта. Выбор угла наблюдения 2° соответствует рекомендациям Международной комиссии по освещению (МКО) и обусловлен тем, что измеряемые образцы деколей, как и ювелирные изделия, для которых они предназначены, имеют малый угловой размер.

Таблица 3

Изменение цветового тона (h) и насыщенности (C) деколей в результате термической обработки при температуре 750°С на эмалях-основах Т-5, Т-6 и ДКЗ № 10.

Номенклатура деколи	Температура обжига, °С.	Результаты измерения на эмалевом основе Т-5	Результаты измерения на эмалевом основе Т-6	Результаты измерения на эмалевом основе ДКЗ № 10
64447 зеленый мох	750	H=-0,42 C=28,1	H=-0,39 C=27,5	H=-0,5 C=37,8
64418 сине-зеленый	750	H=0,37 C=35,58	H=0,32 C=35,6	H=0,12 C=43,7
64014 голубой	750	H=1,48 C=23,98	H=1,54 C=33,6	H=1,18 C=21,8

64778 темно-красный	750	H=0,61 C=61,2	H=0,62 C=49,5	H=0,55 C=47,4
------------------------	-----	------------------	------------------	------------------

Для изготовления экспериментальных образцов использовались деколи коллекции керамических опакowych пигментов серии Н64 (Heraeus Porcelain Bone China Earthenware Tile Enamel).

Так же экспериментально доказана зависимость между изменением цвета исследуемого стеклообразующего состава и температурой обжига.

На основе результатов полученных в ходе экспериментов (табл. 4) были созданы базы данных цветовых значений эмалей-основ при различных рабочих температурах.

Таблица 4

Зависимость цвета исследуемого эмалевого покрытия от температуры обжига.

Интервал обжига, °С	Т, время выдержки, мин	Результаты	
		Эмаль-основаТ-5	Эмаль-основаТ-6
731-752	3		
743-767	3		
747-771	3		
754-780	3		
765-793	3		
774-801	3		
781-810	3		

Из приведенных выше данных можно смело говорить об использовании экспериментальных составов Т-5 и Т-6 в качестве эмали основы под живописную эмаль, это позволяет расширить художественные возможности данного метода оформления изделий (рис. 1, 2), устраняет некоторые виды брака.

Так же в рассматриваемых составах отсутствуют вредные примеси свинца и мышьяка, что делает процесс эмалирования гораздо менее вредным.



Рис.1– панно «Ночь», автор-Федяева Татьяна.



Рис.2 – панно «Мария», автор-Федяева Татьяна.

#### Литература:

1. З. Засухина. Ювелирные эмали и их применение. ЛДНТП, 1981.
2. Э. Бреполь. Художественное эмалирование. Л.: Машиностроение, 1986
3. О.В. Мазурин Свойства стекол и стеклообразующих расплавов. Справочник, Т4. Л., 1974.
4. В. В. Варгин. Производство цветного стекла. М.-Л., 1940Л.

## УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ В ДИЗАЙНЕ

Чичёв А. А.

Научный руководитель: Соколова М. Л., д. т. н., профессор  
Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики, 1  
07996, Россия, г. Москва, ул. Стромьнка, 20

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

Интерес к светодиодам растет быстрее, чем область их применения в светотехнике. Светодиодные светильники излучают уникальный по своим характеристикам свет.

Светодиоды в нашей жизни перестали занимать сегмент лишь красочного декоративного освещения. Разработчики и производители светоизлучающих диодов уже достаточно давно и успешно решают задачу создания источников света для использования светодиодной техники в повседневности. Имеется в виду так называемое «белое» освещение. За кажущейся простотой названия данного типа светодиодов скрываются сложные технологические процессы.

Цель данной статьи проанализировать методы получения белых светоизлучающих диодов, их особенности и свойства.

По данным издания «LED: The Light of the Future. №17» существует три способа получения белого света от светодиодов. [1]

Первый — смешивание цветов по технологии RGB (Рис. 1. Сложение цветов. Красный + Синий + Зеленый = Белый). На одной матрице плотно размещаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается при помощи оптической системы, например линзы. В результате получается белый свет.

Метод RGB дает возможность создавать белый свет точного оттенка, имеющий способность подчеркивать освещаемые цвета. Однако для создания белого цвета RGB требуется сравнительно сложное оборудование, так как в одном источнике необходимо использовать сразу три светодиода. При этом получаемый свет неестественно передает пастельные тона, что является основным следствием низкого индекса цветопередачи белого света, полученного методом RGB.

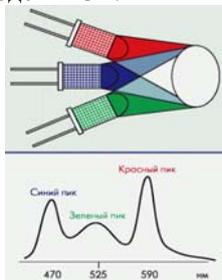


Рис. 1. Сложение цветов. Красный + Синий + Зеленый = Белый

Второй способ заключается в том, что на поверхность кристалла светодиода, излучающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносится три люминофора, излучающих, соответственно, голубой, зеленый и красный свет (Рис. 2. Получение белого света с помощью ультрафиолетового светодиода и

RGB-люминофора). Это похоже на то, как светит люминесцентная лампа.

Люминофорные технологии получения белого света предполагают использование одного светодиода коротковолнового излучения, например, синего или ультрафиолетового, в комбинации с желтым люминофорным покрытием. Фотоны синего или ультрафиолетового излучения, генерируемые светодиодом, либо проходят через слой люминофора без изменения, либо преобразуются в нем в фотоны желтого света. Комбинация фотонов синего и желтого цвета создает белый свет.

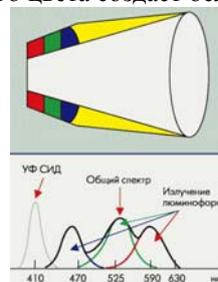


Рис. 2. Получение белого света с помощью ультрафиолетового светодиода и RGB-люминофора

И наконец, в третьем способе желто-зеленый или зеленый плюс красный люминофор наносится на голубой светодиод, так что два или три излучения смешиваются, образуя белый или близкий к белому свет (Рис. 3. Получение белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора).

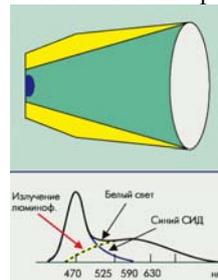


Рис. 3. Получение белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора

Оттенок или цветовая температура белого света, излучаемого светодиодом, определяется длиной волны света, испускаемого синим светодиодом и составом люминофора.

### Метод RGB

Достоинства:

Технология RGB в принципе позволяет не только получить белый цвет, но и перемещаться по цветовой диаграмме при изменении тока через разные светодиоды. Этим процессом можно управлять вручную или посредством программы, можно также получать различные цветовые температуры. Поэтому RGB-матрицы широко исполь-

зуются в светодинамических системах. Кроме того, большое количество светодиодов в матрице обеспечивает высокий суммарный световой поток и большую осевую силу света.

Недостатки:

Световое пятно из-за аберраций оптической системы имеет неодинаковый цвет в центре и по краям, а главное, из-за неравномерного отвода тепла с краев матрицы и из ее середины светодиоды нагреваются по-разному, и, соответственно, по-разному изменяется их цвет в процессе старения — суммарные цветовая температура и цвет «плывут» за время эксплуатации. Это неприятное явление достаточно сложно и дорого скомпенсировать.

#### Люминофорные технологии получения белого света

Достоинства:

Белые светодиоды с люминофорами существенно дешевле, чем светодиодные RGB-матрицы (в пересчете на единицу светового потока), и позволяют получить хороший белый цвет. И для них в принципе не проблема попасть в точку белого цвета с координатами (0,33, 0,33) на цветовой диаграмме МКО, которая является равноэнергетической точкой графика цветности.

Белые люминофорные светодиоды обеспечивают лучшую цветопередачу, чем белые RGB-светодиоды, в большинстве случаев сравнимую с люминесцентными источниками света. От белых RGB-источников света они также отличаются высокой энергоэффективностью. Именно высокая энергоэффективность и хорошая цветопередача делают люминофорные технологии предпочтительным способом получения белого света.

Недостатки:

Во-первых, у них меньше, чем у RGB-матриц, светоотдача из-за преобразования света в слое люминофора; во-вторых, достаточно трудно точно проконтролировать равномерность нанесения люминофора в технологическом процессе и, следовательно, цветовую температуру; и наконец, в-третьих — люминофор тоже стареет, причем быстрее, чем сам светодиод.

Проанализировав вышеизложенные методы получения белых светодиодов, их достоинства и недостатки можно сделать вывод о целесообразности применения их в дизайне осветительных приборов.

RGB-светодиоды незаменимы для цветной заливки сцены, создания динамических цветовых эффектов, архитектурной и интерьерной подсветки.

Светодиоды с люминофорным слоем обеспечивают необходимую яркость и интенсивность белого света и идеально подходят для светильников с заранее заданной цветовой температурой. Производители выпускают как «тёплые», так и «холод-

ные» светодиоды, которые можно смешивать в произвольной пропорции, достигая лучшего результата.

Сложная цветодинамика, характерная для светодиодных модулей, способна удовлетворить требования самого взыскательного дизайнера. Интересно, что игра со спектрами имеет и экологическое значение. Зональное использование различных светодиодных «цепочек» в тех интерьерах, где одновременно пребывают и растения, и человек, снимают эту проблему.

В качестве примера использования белых светодиодных диодов приведу, разработанный мною, настольный светильник «Аромагия кофе» в современном стиле с элементами минимализма, представляющий собой семь цилиндрических плафонов из органического стекла, установленных на круглое основание из древесины грецкого ореха (Рис. 4. Настольный светильник «Аромагия кофе»). В нем установлена комбинированная лампа (люминесцентная энергосберегающая мощностью 8 Вт + светодиоды 0,3 Вт). Цветность 827 (теплый свет).

Сочетание компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) и светодиодов открывает различные области применения: режим КЛЛ — для общего освещения, режим светодиодов — в качестве ночного, ориентировочного освещения. В светильнике используются белые люминофорные светодиоды, обладающие высокой энергоэффективностью, хорошей цветопередачей и относительно невысокой себестоимостью. Режим устанавливается простым переключением стандартного выключателя.

Отличительной особенностью светильника является его многофункциональность и декоративность. Помимо своей основной задачи — освещения пространства в двух режимах, он играет роль аромоприбора.



Рис. 4. Настольный светильник «Аромагия кофе»

#### Список литературы:

1. LED: The Light of the Future. №17 — Darmstadt: FGL, 2009 г. — 60 с.
2. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике — М: Знак, 2006 г. — 972 с.
3. Соррел К. Пространство и свет в современном интерьере — М: Кладезь, 2007 г. — 142 с.

## ИНФОГРАФИКА В ДИЗАЙНЕ ПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФРАНЦУЗСКОМУ ЯЗЫКУ В РАЗНОУРОВНЕВЫХ ГРУППАХ

Шарафутдинова З.С.

Научный руководитель: Кухта М.С., д.ф.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [yalkiria2009@sibmail.com](mailto:yalkiria2009@sibmail.com)

В условиях модернизации высшего образования в России существенно меняется методика преподавания, вводятся в практику принципиально новые носители информации, в том числе – мультимедийные, позволяющие создать условия для формирования и развития коммуникативных умений, языковых и общекультурных навыков.

В данной статье ставится цель – раскрыть творческий потенциал студентов, найти такие методические средства, которые пробуждали бы мыслительную активность студентов и интерес к иностранному языку и адаптировать их для преподавания в разноуровневых группах. Дифференциация по разноуровневым группам дает возможность развития отдельной человеческой личности, влияет на ее мировоззрение, систему ценностей, самоидентификацию, умение мыслить. Основной задачей, ведущей к достижению этой цели, является создание на занятиях условий, обеспечивающих заинтересованность студентов и стимулирующих развитие познавательного интереса.

Особенностью предлагаемой методики является использование в преподавании французского языка современных средств дизайна презентаций – инфографики.

Инфографика подразумевает комбинацию графических элементов и повествования - это и представление информации, и интерпретация реальности, чтобы передать основную идею.

Инфографика позволяет представить информацию компактно и наглядно – в свернутом виде. Инфографика способна не только организовать большие объемы информации, но и более наглядно показать соотношение предметов и фактов во времени и пространстве, а также продемонстрировать тенденции.

При демонстрации слайда презентации с инфографикой появляется возможность вербальной развертки информации. При этом студенты с различным уровнем подготовки представляют варианты, соответствующие их объему лексико-грамматической базы языка. Предлагаемая методика основана на разработке активных методов обучения [1], что позволяет раскрыть потенциал групп разного уровня, и дает преподавателю возможность в психологически-комфортном варианте систематизировать и отработать лексико-грамматический материал. Методика опирается на интеграцию традиционных и современных методов преподавания.

В качестве методического примера использования инфографики предлагается анализ временной шкалы французской команды "Le calendrier de l'équipe de France de football", которую разместила на своем веб-сайте французская газета «Le Monde» (рис.1).

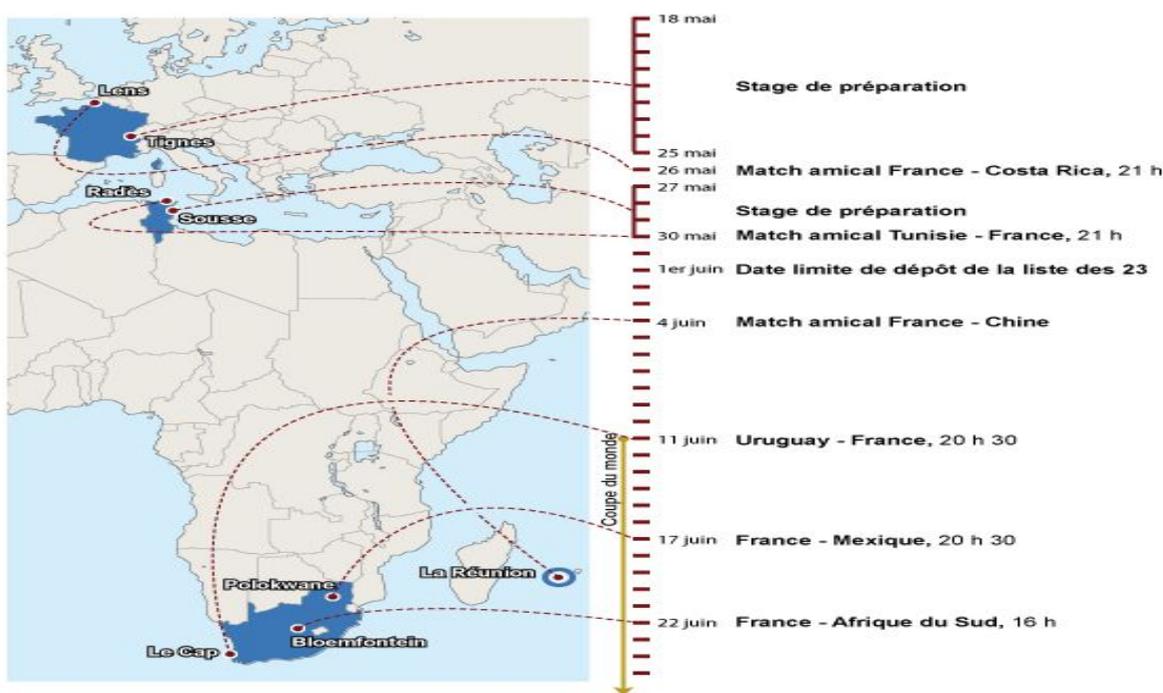


Рис. 1. Инфографика слайда презентации

Инфографика представленного на рис. 1 слайда презентации позволяет включить следующие уровни описания-осмысления информации:

- географический (места тренировок и матчей французской футбольной команды);
- хронологический (время, в которое планируется то или иное спортивное мероприятие).

Группы студентов разного уровня, осваивают тематику и проблематику темы «Спорт» на разной глубине языковой подготовке, однако, творческая составляющая и интерес к самостоятельно выбранной теме обсуждения дает возможность студентам существенно повышать качество и объем привлекаемого материала, в том числе и за счет ярко выраженных побудительных мотивов, способствующих активации познавательного процесса в изучении языка. Инфографика, апеллируя к визуальному контенту, создает новые горизонты осмысления и углубления языковых коммуникаций.

Важной, с точки зрения методической задачи, частью является этап ответов на вопросы и обсуждения каждого слайда в презентации. Для групп разного уровня этот этап может варьироваться от простых ответов на вопросы, касающихся представленного материала, до сложных дискуссионных рассуждений.

Группе, которая недавно изучает язык можно задавать простые вопросы, а для хорошо подготовленной группы студентов, владеющих французским языком на достаточно высоком уровне, возможны дискуссионно-аналитические вопросы, предполагающие широкую палитру языковых средств выражения. Отметим, что важен также и анализ слайдов инфографики в ходе которого об-

суждаются грамматические и фонетические конструкции, специфика построения текстов, способы представления лексического материала. [2]

Отметим, что данный метод стимулирует развитие познавательного интереса, который, по мнению Г.И. Шукиной, можно охарактеризовать «как сложное отношение человека к предметам и явлениям окружающей действительности, в котором выражено его стремление к всестороннему глубокому изучению, познанию их существенных свойств». [3, с.17]

В отличие от традиционного метода, активный метод преподавания языка с включение в дизайн презентации инфографики активизирует мыслительные процессы студентов в разноуровневых группах, побуждает их к постоянному творческому поиску, учит анализировать информацию, строить связное логичное высказывание, учит общению друг с другом, умению правильно излагать свою точку зрения, терпимо относиться к мнению другого человека. Активный метод создает благоприятный мотивационный и эмоциональный фон на занятии французского языка, что ведет к развитию устойчивого интереса к его овладению.

#### **Библиографический список**

1. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. – М., 1991.
2. Полат Е.С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. – М., 2000.
3. Шукина Г.И. Педагогические проблемы формирования познавательных интересов учащихся. – М., 1988.

## ТРОЙНАЯ НЮ-МОЗАИКА

Яна Рудер, Людмила Шель

Руководитель: Доктор философских наук Ульрих Фокс  
Университет Фехта Драйверштрассе 22, 49377 Фехта, Германия  
E-mail: [tory04-06@mail.ru](mailto:tory04-06@mail.ru)

Черно-белая мозаика из сшитых бумажных элементов представляет собой полотно размером 2х2м и является результатом анализа и рефлексии работ немецкого художника Эрнста Людвиг Кирхнера, его представления обнаженного тела в сравнении с собственным пониманием.

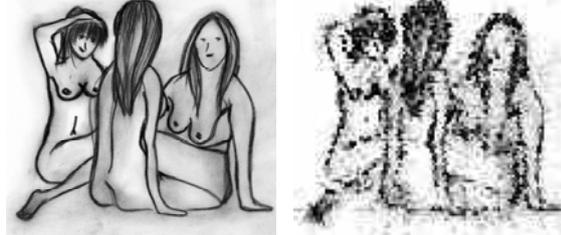
Композиция, которая, с одной стороны, демонстрирует картины художника, с другой стороны, находит свою уникальность в собственном содержании. Следующее высказывание автора отражает, в какой-то степени, суть нашей идеи: «В тысячах набросков, графиков и картин эти обнаженные силуэты образуют мое понимание красоты, которое я могу использовать для создания образа красивой женщины нашего времени».

Рис. 1: Модель в масштабе 1:10



Мы взяли за основу различные произведения художника, на которых изображены обнаженные женские силуэты, и с помощью компьютера лишили их цвета. Объект должен был быть черно-белым, это позволило бы мозаике быть выразительнее. Эскиз изображения мы рисовали сами (проект мы начинали втроем), в котором мы в стиле художника изобразили свои собственные тела. Объект должен был отражать лишь очертания рисунка, которые при рассмотрении издали создавали бы общий силуэт.

Рис. 2: Эскизы



Чтобы примерно представить, как объект будет выглядеть в действительности, мы создали уменьшенную версию полотна в масштабе 1х1м, т.е. в два раза меньше оригинала. Для этого заранее распечатанные картины мы сложили в мозаику.

На рисунке можно увидеть уменьшенную версию в процессе ее создания. Нужно было также точно посчитать, сколько картин входит на одну мозаичную единицу.

Рис. 3: Версия в миниатюре



После создания мини-версии объекта мы разделили все полотно на отдельные компоненты и сфотографировали каждый из них для дальнейшей обработки. В результате мы получили 81 деталь, которые должны были быть увеличены и сшиты.

Рис. 4: Отдельные компоненты

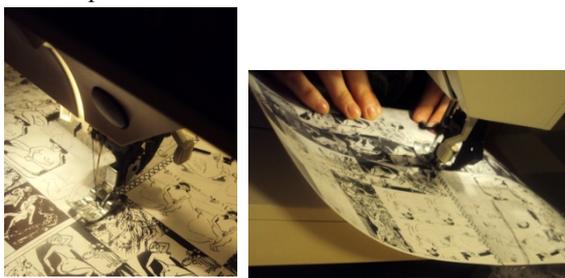


На рисунке можно видеть, что все элементы имеют один и тот же размер. С помощью компьютера все они были увеличены до оригинального размера. В специально для этого разработанный трафарет были вставлены взятые из картинного архива Prometheus произведения Кирхнера, а затем каждый из трафаретов был распечатан. Печать производилась на бумаге в 160 г/м<sup>2</sup>, которая была достаточно прочной для сшивания. Заранее была протестирована бумага различной плотности.

Излишки бумаги по краям каждого распечатанного компонента были подрезаны, при этом мы оставили поля для шва.

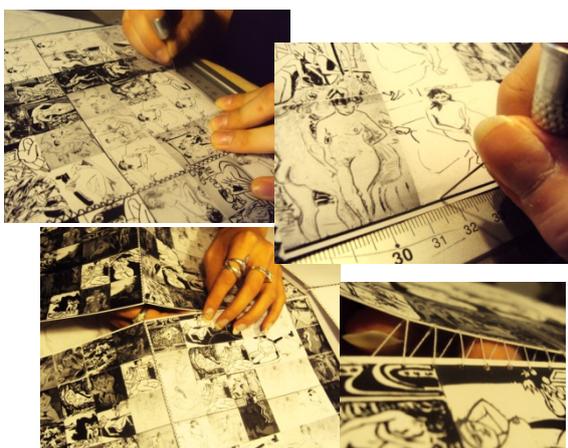
После того как все компоненты были сложены по порядку, можно было начать процесс сшивания. Для начала на швейной машине были сшиты элементы, находящиеся горизонтально рядом друг с другом.

Рис. 5: Процесс сшивания



Так как объект имеет достаточно большой размер (2х2м), было невозможно сшивать его дальше при помощи швейной машины, и мы должны были продолжить ручную. С помощью иголки мы проделали по краям отверстия с промежутком в 5 мм. В итоге мы сшили друг с другом 9 горизонтальных бумажных лент.

Рис. 6: Начало ручной работы



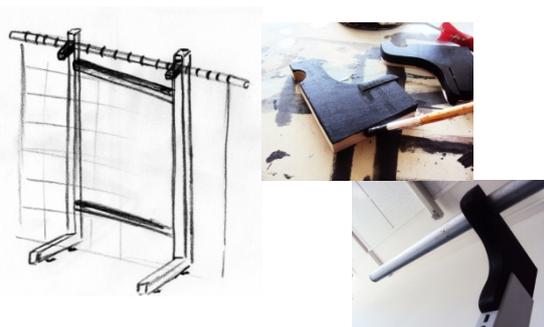
После многочисленных часов работы, мы приблизились к нашей цели. Для того, чтобы наш занавес можно было повесить, мы решили использовать технику крепления гардин. Для начала мы пришили к полотну крючки, в которые позже мы вставили кольца. Так как занавес в силу своего размера получился достаточно тяжелым, нам пришлось укрепить край занавеса самоклеющейся полосой плотного материала, чтобы крепление выдержало его массу. При пришивании каждый крючок был дополнительно укреплен несколькими стежками.



Рис. 7: Крепление: крючки и кольца

Готовый занавес легко складывается, так как его швы достаточно подвижны.

Алюминиевый карниз, на котором должен был висеть занавес, мы подрезали специально по ширине объекта. По диаметру карниз был точно подобран под пластиковые кольца, чтобы их можно было без труда передвигать по нему. Это было сделано также и с той целью, чтобы занавес можно было снимать. Остальной каркас состоит из прочного металла.



Держатели для алюминиевого карниза мы вырезали из дерева специально под его диаметр и покрыли черным лаком. Обе боковые части каркаса соединены двумя горизонтальными элементами, которые гарантируют каркасу стабильность и равновесие.

Для перемещения каркас можно разобрать и вновь собрать, так как вся система состоит из штепсельных соединений. По высоте каркас можно также настроить при наличии неровности пола.

Рис.9: Готовый объект



#### Литература:

1. Presler, Gerd (1998): Ernst Ludwig Kirchner: seine Frauen, seine Modelle, seine Bilder. München: Prestel.
2. <http://www.prometheus-bildarchiv.de/>

## ДИЗАЙН КОВАНЫХ ЖУРНАЛЬНЫХ СТОЛИКОВ

Шишова А. А., Акентьева О. Е.

Научный руководитель: Кухта М. С., д.ф.н., профессор  
НИ Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [bembe91@mail.ru](mailto:bembe91@mail.ru)

Целью моей работы является разработка собственного дизайна журнального столика в индивидуальном стиле.

Традиционно стол считался смысловым центром помещения, и его наличие являлось обязательным вне зависимости от уровня достатка семьи.

Со временем, кроме традиционного обеденного стола, в самых разнообразных зонах помещений появились небольшие элегантные столики, названные в честь зачастую располагаемых на их столешницах предметов журнальными.

Первый журнальный столик (тогда он назывался кофейным) появился в Англии в 19 веке, он проектировался для комфортного чаепития знати, которая часто принимала гостей. Высота, уникального в то время, творения составляла 70 см., а его создателем стал Эдвард Уильям Годвин – английский архитектор. Его популярность и отсутствие развитого мебельного производства заставляла многих идти на хитрость и спиливать ножки у обеденных столов, чтобы получить вожделенный кофейный столик. Традиционным материалом для изготовления столов было дерево, с приходом новых технологий стали появляться столы из металла, пластика и стекла.

В настоящее время число потребителей, которые используют, кованый журнальный столик неуклонно растет, изо дня в день, а мебельный рынок приятно радуется разнообразием видов журнальных столов [1].

С учетом того, что сейчас в моде открытые, легкие пространства, очень эффектно, смотрится журнальный столик с коваными ножками и стеклянной крышкой. При этом кованый узор просматривается со всех сторон.

С развитием технологии обработки стекла появились новые возможности его использования в интерьере и декоре: пескоструйная обработка, использование матового или дымчатого стекла, витражные столешницы (добавляющие изыска и не загромождающие пространство).

В результате этого темой моего проекта стал журнальный столик с коваными ножками и стеклянной крышкой, который помимо красоты отличается надежностью, особенной долговечностью, высокой устойчивостью, и индивидуальностью.

И для того чтобы глубже понять тему и прийти к созданию собственного проекта, рассмотрим какие формы и виды столов существуют.

Форма столешницы — это одно из свойств, по которому можно классифицировать журнальные столики. Столешницы бывают как геометрической (круглой, квадратной, треугольной, прямоугольной, овальной), так и неправильной формы.



Рис. 1 Пример дизайна кованого журнального столика с прямоугольной столешницей.



Рис. 2 Пример дизайна кованого журнального столика с круглой столешницей.

Часто конструкция стола не ограничивается наличием одной столешницы — можно встретить модели, эффектно сочетающие и два, и три полотна. Очень удобными оказываются столики, снабженные специальной полкой (или системой полок) для хранения журналов, газет, книг и прочих атрибутов домашнего отдыха.

Нельзя оставить без внимания и второй составляющий элемент журнального столика — ножки. Как количество, так и форма ножек варьируются. Это может быть одинокая резная ножка столика-гедидона, четыре классические «лапы грифона» либо металлоконструкция в стиле хай-тэк.

Стилистика журнальных столиков подчас до того интересна, что они становятся значимой частью интерьера любого направления дизайнерской мысли.

Достигается это разнообразие не только оперированием присущими тому или иному стилю силуэтами, но сочетанием различных материалов. Материалы из которых изготовлен стол в некоторой степени, диктуют правила эксплуатации. Современные технологии изготовления и обработки мебели, позволяют надолго сохранить журнальные столы в хорошем состоянии. Если при создании традиционных классических моделей использова-

лись только массивы дерева или металл, то на нынешний день список материалов основательно расширился. Актуальными считаются модели, выполненные из металла, пластика, ударопрочного — закаленного стекла, дерева, декорированные камнем, а порой даже и кожей, а также из комбинаций данных материалов.

Многие знают, что стекло в мебельном производстве - один из излюбленных материалов для тех мебельных дизайнеров, которые любят проводить эксперименты с новинками мебели.

Стекло дает возможность создавать на самом деле оригинальные, современные и крайне впечатляющие предметы мебели и интерьера, которые становятся украшением любого интерьера – и домашнего, и офисного, и общественного [2].

Тем не менее, кроме бесспорных преимуществ, мебельное стекло возлагает на своего творца и весьма серьезную ответственность. Ведь, например, журнальный или кухонный стол из данного материала уже не спрячешь под материей скатерти или покрывала. Стекло прозрачно, и людям будет видна буквально каждая мелочь в конструкции стола, а значит, все детали его – от ножек до столешницы должны быть истинно безукоризненны и идеальны. К тому же, при проектировании конкретной модели необходимо применять «правильные» материалы, которые обеспечат будущим владельцам надлежащий уровень безопасности и комфорта[3].

Рассмотрев все типы, я решила предоставить свой вариант кованого журнального стола. Круглая стеклянная столешница этого журнального столика надежно закреплена на элегантном плетеном основании, которое одновременно играет и практическую, и декоративную роль. Поверхность кованого стола – закаленное стекло толщиной 8мм чрезвычайно прочное, но в случае повреждения разбивается на маленькие не острые кубики.



Рис. 3 Дизайн столешницы журнального столика

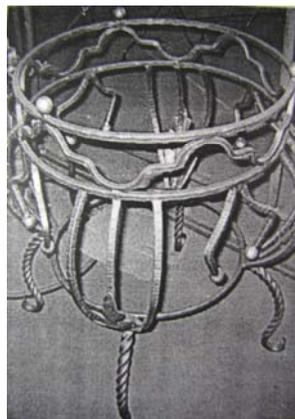


Рис. 4 Кованый низ стола (ножки)



Рис. 5 Эскиз столешницы с кованым низом

Данная столешница представляет собой замкнутую круговую композицию из силуэтов ангелов простирающих ладони к центру-солнцу, которые симметрично заритмованы.

Ангелы — символы предвестников священного, которые сопровождают нас и помогают, когда это необходимо. Слово «ангел» означает посланник, «приносящий вести». Невидимые посланники, обитатели небес, создания светлые и легкие, но также огненные и воинственные, присутствуют во многих традициях, и нет ни одной цивилизации, где не упоминались бы эти духовные сущности, которые сотрудничают с Создателем. Символ солнца в центре - древнейший космический символ, известный всем народам, означает жизнь, источник жизни, свет.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Материалы сайта  
<http://www.reznoe.in.ua/vmr/details/80/55/mebelshkatulki/gurnalniy-stolik.html>
2. Материалы сайта  
<http://www.mebelaero.ru/articles/detail.php?ID=124>
3. Материалы сайта  
[http://www.akvilonm.ru/article/korpusnaja-mebel/kreativnye\\_jurnalnye\\_stoliki\\_iz\\_stekla.html](http://www.akvilonm.ru/article/korpusnaja-mebel/kreativnye_jurnalnye_stoliki_iz_stekla.html)

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ФИГУР В ДИЗАЙНЕ

Щербинина А.А., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30

Email: [nushenka17@gmail.com](mailto:nushenka17@gmail.com)

В настоящий момент всё большее распространение в дизайне получают ажурные металлические объекты. К ним относятся манекены, скульптуры и скульптурные композиции. Ажурный металлический манекен или скульптура, будучи расположенными в витрине магазина, практически не препятствуют прохождению дневного света. И наоборот каркас такой скульптуры или манекена очень удобен для размещения на нём гибких светильников. Эти и другие свойства ажурных манекенов создают тенденцию их широкого применения [1].

С технической точки зрения ажурный манекен представляет собой конструкцию, детали которой соединены неразъёмно. Взаимное расположение деталей подчинено замыслу дизайнера-художника и это расположение трудно поддается математическому описанию. Позиционирование деталей при соединении может быть осуществлено различными методами. В частности, использовалась базовая поверхность, выполненная из гипса. Однако, этот метод сужает возможности формообразования ажурных металлических скульптур, либо подобных им по форме ажурных арт-объектов [2].

Данная статья посвящена разработке устройства, упрощающего процесс изготовления ажурных металлических арт-объектов сложной формы.

В настоящее время имеется тенденция к созданию различных изделий на основе магнитов, которые поражают разнообразными формами как в плоскости, так и в пространстве. Такие изделия применяются в качестве игрушки, конструктора, учебного пособия, демонстративной модели.

Например, известна конструкционная модульная система с разъемным магнитным каркасом, содержащая множество модульных блоков из немагнитного материала, подлежащих сборке для создания композиций [3]. Недостатком данной модульной системы является однозначное соответствие изображения форме модульных блоков. Это сужает возможности формообразования.

Также известно магнитное игровое устройство, содержащее вращающийся несущий каркас, образованный стержневым элементом, и установленные на нем с возможностью скольжения магнитные кольца [4]. Недостатком данного устройства является невозможность изменения формы каркаса, однозначное соответствие изображения форме стержневых элементов, ограниченность в получении пространственных конфигураций.

Нашей задачей являлось изобрести устройство, позволяющее получать трехмерные фигуры при помощи формообразующих объемных элементов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является устройство для формирования объемного изображения [5].

Устройство содержит образующие изображение объемные элементы, выполненные в виде шнуров, снабженных по меньшей мере одним постоянным магнитом, предназначенным для закрепления указанных элементов на имеющем произвольную форму основании из ферромагнитного материала.

Недостатком данного устройства является невозможность образования объемных фигур вне основания из ферромагнитного материала.

Указанная задача в предлагаемом устройстве решается следующим образом [6].

На рис. 1 представлен общий вид объемного элемента.

На рис. 2 представлено осевое сечение участка объемного элемента.

Устройство для формирования объемных фигур содержит образующие форму объемные элементы, каждый из которых снабжен постоянными магнитами 1. Магниты имеют сферическую форму 2 со сквозным отверстием 3 и нанизаны на тросик 4 вперемежку со втулками 5, имеющими на концах вогнутые сферические поверхности 6 и 7. На одном конце тросик имеет механизм натяжения 8.

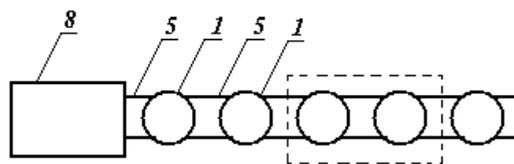


Рис. 1. Общий вид объемного элемента

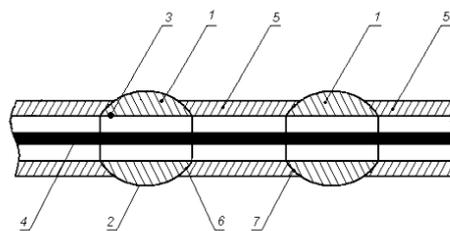


Рис. 2. Осевое сечение участка объемного элемента

Устройство работает следующим образом. При помощи механизма натяжения 8 натягивают тросик 4, на который нанизаны магниты 1 вперемежку со втулками 5. При этом объемный элемент принимает определенную пространственную форму, образуя пространственную кривую линию, если пренебречь толщиной объемного элемента по сравнению с его длиной. Вследствие притяжения магнитов нескольких объемных элементов, кривые

линии этих элементов образуют каркас трёхмерной фигуры.

На полученном каркасе объёмной фигуры за счёт притяжения к магнитам прочно удерживаются детали из конструкционной стали. Соединяя неразрывно (например, сваркой) эти детали между собой, можно получать разнообразные фигуры. В этом случае предлагаемое устройство служит каркасом для сварки. Ослабляя механизм натяжения троса каждого объёмного элемента, их удаляют из образованной фигуры.

Возможности предлагаемого устройства в реализации объёмных фигур определяются минимальным радиусом кривизны объёмного элемента. Этот радиус может быть рассчитан по следующей схеме (рис. 3).

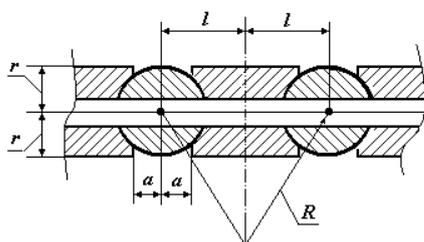


Рис.3. Расчётная схема

Примем:

$2l$  – расстояние между центрами двух соседних шаров-магнитов;

$2a$  – расстояние между торцами двух соседних втулок;

$2r$  – диаметр втулки.

Тогда минимальный радиус  $R$  кривизны средней линии объёмного элемента определяется по формуле:

$$R = \frac{l}{a} \sqrt{r^2 + a^2}$$

Описанное устройство может использоваться не только как базовая поверхность при изготовлении ажурных металлических манекенов или скульптур. Это устройство может быть напрямую использовано при натурном моделировании формы тел. В компьютерном проектировании создаваемые объекты принимают вид ажурной объёмной конструкции. Они имеют свою эстетику. Моделирование объектов в таком стиле может быть осуществлено в натуре с помощью предлагаемого устройства, например, классический «чайника Юта». С помощью предлагаемого устройства могут быть смоделированы объёмные конструкции любой сложности. Необходимо только, чтобы радиус кривизны линий реализуемого объекта был не меньше радиуса  $R$  кривизны средней линии объёмного элемента.

Поскольку форма каждого объёмного элемента держится за счёт сухого трения между магнитами и втулками, то можно пластично менять форму каждого объёмного элемента и всей объёмной фигуры в целом. Таким образом, предлагаемое устройство выполняет роль пластилина. Другими словами, такое устройство превращается в игрушку. Современные материалы – пластмассы имеют яркие цвета. Игрушка, выполненная в соответствии с формулой изобретения, будет ярче пластилина и интереснее, так как позволяет реализовывать достаточно большие объекты, но лёгкие по сравнению с телами из пластилина.

#### Выводы:

Устройства, сочетающие в себе магнитные детали и детали с регулируемыми силами фиксации взаимного расположения, наиболее перспективны применительно к монтажу ажурных металлических конструкций со сложной взаимной ориентацией соединяемых деталей. Наряду с тем, что устройство является вспомогательным оборудованием при сварке, оно также может служить 3D моделью при конструировании объектов сложной формы.

Использование пластмасс ярких цветов для деталей разработанной полезной модели превращает её в занимательную игрушку, развивающую пространственное воображение детей.

#### Список литературы:

1. Кухта М.С. Манекены для витрин, выполненные по технологии художественнойковки / М.С. Кухта, А.П. Соколов, К.С. Сокур // Дизайн. Материалы. Технология – 2011. – № 2 (17). – С. 57-59.
2. Кухта М.С. Художественно-проектные решения и современные технологии арт-объектов средового дизайна / М.С. Кухта, А.П. Соколов, К.С. Сокур // Известия Томского политехнического университета. 2011. – Т. 319. – № 6. – С. 177-181.
3. Пат.2367493 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Конструкционная модульная система с разъёмным модульным каркасом / Клаудио Вичентелли; опубл. 10.06.2009.
4. Пат.2053829 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Магнитное игровое устройство / А.А. Лазарь; опубл. 10.02.1996.
5. Пат.2241259 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмного изображения / М.Г. Давыдов; опубл. 10.10.2004.
6. Пат.111011 Российская федерация, МПК А63Н33/26 (2006.01) Устройство для формирования объёмных фигур / А.П. Соколов, А.А. Щербина, М.С. Кухта; опубл. 10.12.2011.

---

---

## **СЕКЦИЯ 12**

---

---

# **НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ И НОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА**



## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТИТАНА НА ЕГО ТЕРМИЧЕСКУЮ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Божко П.В., Коршунов А.В.

Научный руководитель: Коршунов А.В., к.х.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050 Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [polya.bozhcko@yandex.ru](mailto:polya.bozhcko@yandex.ru)

Перспективы применения титана и его сплавов с мелкозернистой и субмикроструктурной структурой связаны с улучшением ряда физико-механических характеристик (увеличение прочности с сохранением пластичности) по сравнению с крупнозернистыми материалами. Перевод металла в субмикроструктурное состояние за счет различного вида деформационных воздействий сопровождается возрастанием доли межзеренных границ и степени их неравновесности, увеличением концентрации дефектов и напряжений в теле зерна, что приводит к изменению устойчивости металла к химическим воздействиям. В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование особенностей процессов окисления титана при нагревании, а также его коррозии в растворах серной кислоты в зависимости от структурных характеристик пластически деформированного металла.

В работе использовали технически чистый титан ВТ1-0 с крупнозернистой (КЗ) и субмикроструктурной (СМК) структурой. Образцы титана с СМК структурой получали путем прессования заготовок исходного КЗ образца (прутки Ø20×50 мм) в условиях ступенчатого понижения температуры в интервале 800–350 °С в атмосфере воздуха и последующей холодной прокатки в ручьевых валках квадратного сечения. Характеристики образцов определяли при помощи комплекса физико-химических методов (атомно-эмиссионная спектроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ, циклическая вольтамперометрия) [1].

Основной кристаллической фазой исследуемых образцов титана с КЗ (средний размер зерна 15 мкм) и СМК (два образца со средним размером зерна 0,46 и 0,15 мкм) структурой является α-Ti с ГПУ решеткой, фазы оксидов не зафиксированы. Уменьшение среднего размера элементов зеренно-субзеренной структуры образцов сопровождается увеличением параметра решетки Ti на ~0,3% за счет формирования α-фазы с повышенным содержанием растворенного кислорода. Увеличение содержания растворенного кислорода в Ti с СМК структурой может являться одной из причин повышения микротвердости материала.

В условиях линейного нагрева в воздухе образцы Ti в зависимости от их структуры и состояния (компактное, порошкообразное) проявляют различную активность в отношении процесса окисления. Значения температуры начала окисления образцов в компактном состоянии близки и состав-

ляют ~770 °С, вплоть до температуры ~930 °С скорость процесса незначительна, выше этой температуры скорость реакции возрастает. Скорость прироста массы пластически деформированных образцов с повышением температуры изменяется немонотонно, что может быть связано с влиянием роста зерен на процесс окисления. Характерной особенностью СМК Ti является смещение полиморфного превращения α-Ti→β-Ti в область температур >900 °С, что обусловлено большей начальной окисленностью пластически деформированного Ti: при получении субмикроструктурной структуры в условиях деформационного воздействия на металл происходит формирование твердого раствора, повышающего относительную стабильность α-фазы.

При нагревании в изотермических условиях в интервале 600–800 °С с уменьшением среднего размера зерна образцов Ti происходит увеличение скорости их окисления на ~8 %, процесс окисления описывается параболической зависимостью  $(\Delta m/m_0)^2 = f(\tau)$ .

Таблица 1. Кинетические параметры процесса окисления порошкообразных образцов Ti в изотермических условиях ( $m_0=10$  мг,  $v_{возд}=100$  мл/мин)

Об-разец	$t, ^\circ\text{C}$					$E_a,$ кДж/ моль
	600	650	700	750	800	
	$k_p \cdot 10^3, \text{мин}^{-1/2}$					
КЗ	0,02	0,10	0,30	1,0	3,0	192±3
СМК -1	0,03	0,13	0,50	1,2	3,8	189±3
СМК -2	0,06	0,20	0,70	2,0	5,5	173±3

Для пластически деформированных образцов характерно уменьшение эффективной энергии активации окисления по сравнению с КЗ Ti от 192 до 173 кДж/моль (табл.1.), что может быть обусловлено повышением диффузионной проницаемости металла за счет увеличения доли неравновесных границ и связанного с этим повышения коэффициента диффузии кислорода, стабилизирующего неравновесную СМК структуру до относительно высоких температур [1].

Исследование электрохимического поведения образцов Ti с различной структурой в растворах 1–5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с применением метода циклической вольтамперометрии показало, что для пластически деформированного титана с субмикроструктурной структурой характерно

смещение стационарного потенциала  $E_{ст}$  в область потенциалов пассивного состояния вследствие значительного торможения сопряженной реакции анодного растворения (Рис. 1.).

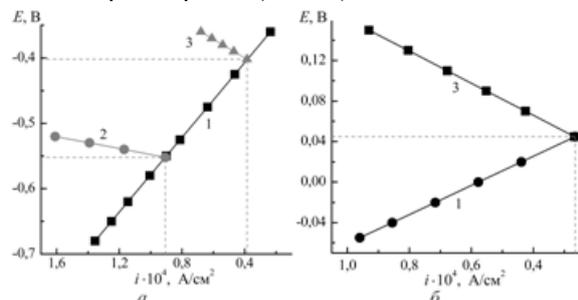


Рис. 1. Поляризационные диаграммы Ti электродов с крупнозернистой (а) и субмикроструктурной (б) структурой в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 1 – катодный участок; 2 – анодный участок, соответствующий активному состоянию электрода; 3 – анодный участок, соответствующий пассивному состоянию электрода.

Наблюдаемый эффект связан с большим (по сравнению с исходным крупнозернистым образцом) содержанием растворенного в Ti кислорода, накопление которого происходит в ходе деформационного воздействия на металл. Увеличение доли межзеренных границ в субмикроструктурном титане способствует повышению влияния адсорбированного кислорода на электрохимическое поведение Ti. Повышенная диффузионная проницаемость металла приводит к образованию нестехиометрических поверхностных оксидов состава Ti<sub>n</sub>O<sub>2n-1</sub> с относительно большим дефицитом по кислороду, обладающих большей проводимостью в сравнении со стехиометрическим TiO<sub>2</sub>.

В условиях коррозии в растворах 5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 23°C субмикроструктурный Ti по сравнению с крупнозернистым в течение длительного времени (до 200 ч) находился в неактивном состоянии за счет большей окисленности поверхностного слоя металла, в связи с чем наблюдалось смещение  $E_{ст}$  в область положительных потенциалов (Рис. 2.).

По окончании индукционного периода коррозионное разрушение СМК Ti ускоряется и в зависимости от особенностей структуры металла и концентрации кислоты может носить катастрофический характер.

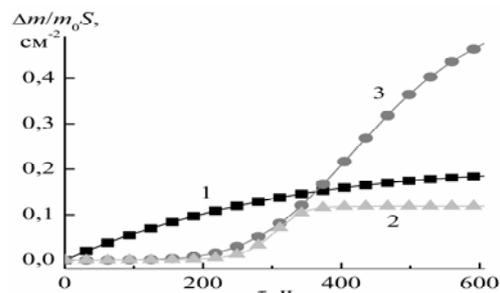
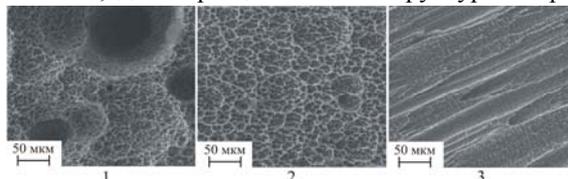


Рис. 2. Зависимость относительного изменения массы на единицу площади образцов Ti с различной структурой от времени при коррозии в 5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 1 – КЗ; 2 – СМК-1; 3 – СМК-2 ( $t=23$  °С, перемешивание,  $V_{раствора}/m_{0,Ti} \geq 100$  мл/см<sup>2</sup>)

Анализ морфологии поверхности образцов по окончании коррозионных испытаний (Рис. 3) показывает, что характер разрушения образцов определяется их исходным составом и структурой. Для КЗ Ti основными видами разрушения являются питтинг, для образцов с СМК структурой харак-



терна сплошная коррозия, сопровождающаяся развитием фронта разрушения в виде пятен (СМК-1) и желобов (СМК-2) [2].

Рис. 3. Микрофотографии поверхности образцов титана после нахождения в 5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в течение 25 сут: 1 – КЗ; 2 – СМК-1; 3 – СМК-2.

Согласно проведенным исследованиям установлено, что формирование субмикроструктурной структуры Ti в условиях интенсивной пластической деформации сопровождается повышением диффузионной проницаемости металла, приводящей к повышению скорости его окисления при нагревании, а также изменению электрохимического и коррозионного поведения в растворах за счет повышения содержания в металле кислорода.

#### Список литературы:

1. Коршунов А.В., Ильин А.П., Лотков А.И. и др. Особенности окисления субмикроструктурного титана при нагревании в воздухе // Известия Томского политехнического университета. – 2011 – Т. 319 – №. 3 – С. 10–16.
2. Божко П.В., Коршунов А.В., Ильин А.П. и др. Электрохимическое поведение пластически деформированного титана в растворах серной кислоты // Известия Томского политехнического университета. – 2011 – Т. 319 – №. 3 – С. 17–24.

## ИМУЛЬСНАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ GaN

Васнев А.С., Степанов С. А.

Научный руководитель: Штанько В.Ф., д-р физ.-мат. наук, профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [stepanov\\_s@sibmail.com](mailto:stepanov_s@sibmail.com)

Благоприятное сочетание многих физико-химических свойств нитрида галлия открывает перед ним широкие перспективы применения в различных областях электронной техники. Высокая термическая, химическая и радиационная стойкость нитрида галлия позволяет использовать его для изготовления приборов, работающих при повышенных температурах и в неблагоприятных условиях. Прямой характер межзонных переходов, большая ширина запрещенной зоны, образование твердых растворов изоморфного замещения с нитридами алюминия и индия обуславливают возможность значительного расширения спектрального диапазона работы изготавливаемых на его основе светоизлучающих и фотоприемных устройств.

В последние годы интерес к нитриду галлия значительно возрос в связи с практическими успехами в получении высококачественных эпитаксиальных слоев (ЭС) и реализации на их основе эффективных светоизлучающих диодов для синей и сине-зеленой областей спектра, а также синих лазерных диодов, работающих в непрерывном режиме при температуре 20<sup>0</sup>С. Результаты этих исследований и разработок нашли отражение в большом количестве публикаций, а также в ряде обзорных работ, освещающих последние достижения в этой области [1-4]. Отмечено, что внешний выход излучения светодиодов зависит как от состава квантовых ям, так и от технологии получения гетероструктур и не является оптимальным. Одной из важных проблем является отсутствие методов быстрого неразрушающего контроля гетероструктур на разных технологических стадиях их производства.

В настоящей работе представлены результаты исследования люминесценции гетероструктур до изготовления светодиодов с целью оценки перспективности использования метода импульсной спектроскопии для контроля их качества. Ранее [5] данный метод был весьма продуктивно использован для разработки способа контроля излучательных свойств прямозонных полупроводников группы A2B6.

В настоящей работе исследовались полупроводниковые светодиодные структуры на основе GaN и его твердых растворов InGaN и AlGaN. На сапфировой подложке и буферном слое GaN ( $\approx 0.5 \mu\text{m}$ ) выращен слой n-GaN: Si ( $t = 3 - 7 \mu\text{m}$ ). На нем выращен активный тонкий слой, представляющий собой множественные квантовые ямы (МКЯ)  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (5 периодов). Затем следует широкозонный слой p-AlGaN:Mn ( $\approx 0,05 \mu\text{m}$ ) - барьер для электронов, необходимый для инжекции дырок и согласования решетки активно-

го слоя с верхним контактным слоем p-GaN:In ( $\approx 0.15 \mu\text{m}$ ).

В работе использован метод импульсной оптической спектроскопии с временным разрешением, основные принципы которого изложены в [6]. Методика прецизионных измерений при облучении импульсным электронным пучком (ИЭП) аналогична [7]. Параметры ускорителя: максимальная энергия ускоренных электронов - 0,28 MeV, длительность импульса на полувысоте - 12 ns, временное разрешение - 7 ns, плотность энергии пучка варьировалась от 0.01 до 0,0525 J/cm<sup>2</sup>. Измерения проводились при температуре 295 К. Для исключения влияния предварительного облучения частота следования импульсов облучения составляла  $\sim 10^{-3}$  Hz. Использовалась поперечная схема регистрации люминесценции, то есть регистрация интенсивности излучения осуществлялась в направлении, перпендикулярном направлению падения электронного пучка.

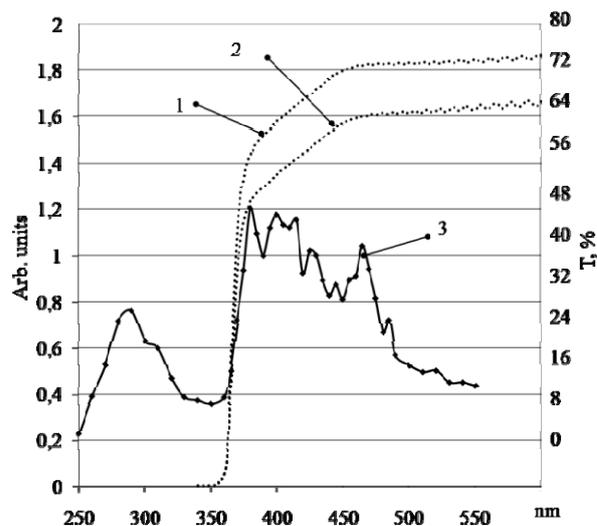


Рис.1. Спектр излучения светодиодной структуры на основе GaN/InGaN/AlGaN при облучении ИЭП с плотностью энергии 0,0525 J/cm<sup>2</sup> со стороны рабочих слоев (3), спектры пропускания светодиодной структуры на основе GaN/InGaN/AlGaN при зондировании со стороны рабочих слоев (1) и со стороны сапфировой подложки (2).

Из спектров пропускания (Рис.1. кривая 1,2) видно, что граница пропускания находится на  $\approx 350 \text{ nm}$ . При зондировании со стороны рабочих слоев (рис.1, кривая 1) наблюдается большее пропускание чем со стороны сапфировой подложки (рис.1, кривая 2). Разница в спектрах пропускания примерно в 7-8% объясняется большим зеркальным отражением при зондировании со стороны

сапфировой подложки. Так же стоит отметить колебательный характер спектра пропускания с 450 нм и далее в ИК область, с ростом длины волны амплитуда и период колебаний растут. Предположительно, данная структура появляется из-за наличия МКЯ.

Анализируя спектр излучения светодиодной структуры (Рис.1. кривая 3), излучение до 350 нм можно объяснить сложным спектром излучения сапфира с излучением широкозонных слоев p-AlGa<sub>0.5</sub>N:Mn и p-GaN:In. Излучение от 350 нм до 450 нм можно отнести к краевому излучению буферных слоев n-GaN:Si. Сложным спектром излучения МКЯ обуславливается излучение после 450 нм [8].

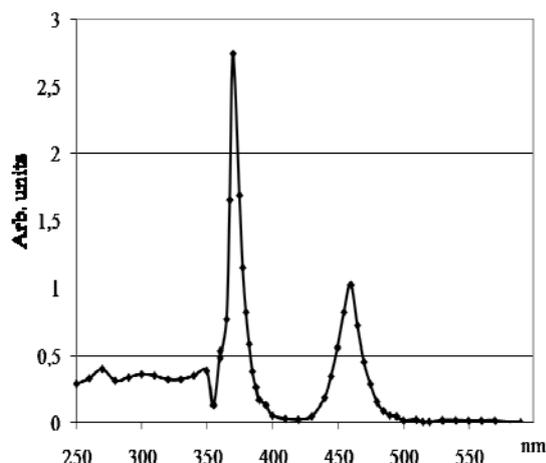


Рис. 2. Спектр излучения светодиодной структуры на основе GaN/InGaN/AlGaN при облучении ИЭП с плотностью энергии 0,0525 J/cm<sup>2</sup> со стороны сапфировой подложки.

При облучении светодиодной структуры со стороны сапфировой подложки спектр излучения существенно изменяется (Рис. 2.). Данное изменение обусловлено в первую очередь тем, что пробег электронов меньше толщины сапфировой подложки, следовательно возбуждение светодиодной структуры происходит излучением из области торможения пучка. Полоса излучения на 367.5 нм является сложной и относится к излучению широкозонных слоев n-GaN:Si, p-AlGa<sub>0.5</sub>N:Mn и p-GaN:In. Полоса излучения на 457.5 нм по данным работы [9] относится к излучению МКЯ. С увеличением плотности возбуждения изменение интенсивности как сложной полосы излучения широкозонных слоев n-GaN:Si, p-AlGa<sub>0.5</sub>N:Mn и p-GaN:In (Рис.3.кривая 1) так и полосы МКЯ (Рис.3.кривая 2) носит линейный характер.

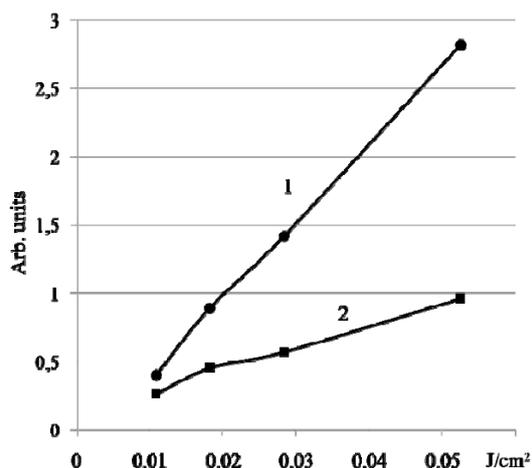


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения светодиодной структуры на основе GaN/InGaN/AlGaN при облучении ИЭП со стороны сапфировой подложки от плотности возбуждения для длин волн, nm: 1-367.5, 2-457.5

Спектральное положение полосы МКЯ определяется составом In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N. По данным работ [8,9], в зависимости от концентрации x-In и y-Al изменение спектрального положения данной полосы может достигать 200 нм, по этому на основе данных фотолюминесценции можно судить о составе излучающих слоев.

Работа выполнена в рамках программы 218 по постановлению правительства РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Akasaki, H. Amano // J. Cryst. Growth. 1996. V. 163. N 1/2. P. 86-98.
2. А. Э. Юнович // Светотехника. 1996. № 5/6. С. 2-7.
3. S. Nakaniura, G. Fasol The Blue Laser Diode. GaN Based Light Emitters and Lasers. Berlin, Heidelberg et al.: Springer. 1997. 343 p.
4. I. Akasaki // J. Cryst. Growth. 1998. V. 195. P. 248-251.
5. В. Ф. Штанько, В. И. Олешко, А. В. Намм, В. М. Толмачев, Е.А. Терещенко // ЖПС. 1991. Т. 55. №. 5. С. 788-793.
6. Э. Д. Алукер, В. В. Гаврилов, Р.Г. Дейч, С. А. Чернов. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галогидных кристаллах. Зинатне, Рига.1987. 183 с.
7. Е.П. Чинков, В.Ф. Штанько. // ФТП. 1997. Т. 39. №. 7. С. 1197-1202.
8. К. Г. Золина, В. Е. Кудряшов, А. Н. Туркин, А. Э. Юнович // ФТП. 1997. Т. 31. №. 9. С. 1055-1061.
9. А. Н. Ковалева, Ф. И. Маняхин, В. Е. Кудряшов, А. Н. Туркин, А. Э. Юнович // ФТП. 1998. Т. 32. №. 1. С. 63-67..

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ $Zr^+$ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ ЭК-181

Ветова Н.А.<sup>1</sup>, Синякова Е.А.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Панин А.В., д.ф.-м.н.

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4

E-mail: [vetka7.90@mail.ru](mailto:vetka7.90@mail.ru)

### Введение

Разработка методов модифицирования поверхностных слоев материалов и изделий является актуальной задачей для развития новых современных технологий. Среди таких методов весьма перспективными и широко используемыми в промышленно-развитых странах являются методы воздействия ионными пучками [1].

Обработка пучками ионов Zr позволяет создавать в конструкционных сталях поверхностные слои нитрида циркония ZrN, которые имеют высокие твердость и температуру плавления, химическую стабильность, высокое сопротивление коррозии и износоустойчивость [2]. В процессе обработки возможно формирование многослойных структур, содержащих нитридные и интерметаллидные фазы и характеризующиеся различными физико-механическими свойствами. Такие системы отличаются меньшими внутренними напряжениями, отсутствием трещин, высоким адгезией к подложке и между слоями. В настоящей работе исследуется влияние облучения ионными пучками циркония на структуру и механические характеристики поверхностных слоев ферритно-мартенситной стали ЭК-181.

### Материалы и методика эксперимента

В работе исследовали образцы стали ЭК-181 (Fe-12Cr-2W-V-Ta-B-C), подвергнутые закалке (от 1080 °C с выдержкой в течение 1 часа) и последующему старению (при 720 °C в течение 3 часов).

Ионное облучение пучками  $Zr^+$  выполняли с помощью вакуумно-дугового импульсного ионного источника. Поверхность образцов стали ЭК-181 подвергали бомбардировке первоначально в вакууме, а затем в атмосфере азота. Параметры обработки представлены в таблице 1. Перед облучением образцы подвергались механической шлифовке и полировке.

Исследование поверхности, модифицированной ионными пучками  $Zr^+$ , выполняли на атомно-силовом микроскопе РАСМ-5. Металлографические исследования протравленных образцов проводили с использованием оптического микроскопа ZEISS AXIOVERT 25 CA.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) выполняли на дифрактометре ДРОН-7 с использованием  $CoK_{\alpha}$  ( $Co-\lambda = 1,78892 \text{ \AA}$ ) излучения в диапазоне углов  $2\theta = 20 \dots 165^\circ$ . Съемку проводили с шагом 0.07 и

временем экспозиции на каждой точке 10 с.

Таблица. 1. Давление азота в камере ( $P_N$ ), сила тока (I), частота оборотов образца ( $\nu$ ), напряжение смещения ( $U_s$ ), длительность воздействия импульса ( $\tau$ )

Состав ионного пучка	$P_N$ , Па	I, А	$\nu$ , об/мин	$U_s$ , В	$\tau$ , мин
$Zr^+$	-	60	1	-900	2
$Zr^+N$	0,1	60	5	-900	8

Одноосное статическое растяжение образцов стали ЭК-181 выполняли на машине Instron 5582 при комнатной температуре со скоростью нагружения 0,2 мм/мин. Измерения твердости исследуемых образцов осуществляли на нанотвердометре NANO TEST с использованием пирамидки Берковича. Максимальная нагрузка в процессе наноиндентирования составляла 50 мН, а глубина проникновения индентора в объем образца не превышала 2 мкм.

### Результаты эксперимента

Исследования поверхностных слоев стали ЭК-181 показали, что облучение ионными пучками  $Zr^+$  приводит к существенному изменению не только структуры, но и фазового состава. Методом атомно-силовой микроскопии обнаружено, что в результате обработки ионами  $Zr^+$  на поверхности образцов стали ЭК-181 формируется нанокристаллическая структура со средним размером зерна 150 нм (рис.1, табл. 2).

На рис. 2 представлена дифрактограмма, полученная после бомбардировки образцов стали ЭК-181 ионными пучками  $Zr^+$ . Из анализа дифрактограммы следует, что кроме железа в поверхностных слоях присутствует фаза нитрида циркония ZrN. Кроме того, наблюдается увеличение параметра решетки железа (2,8725 нм), что может свидетельствовать о внедрении в нее атомов циркония и азота.

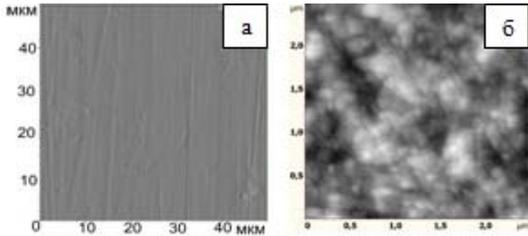


Рис. 1. АСМ-изображения поверхностного слоя образцов стали ЭК-181 до (а) и после обработки ионными пучками  $Zr^+$  (б)

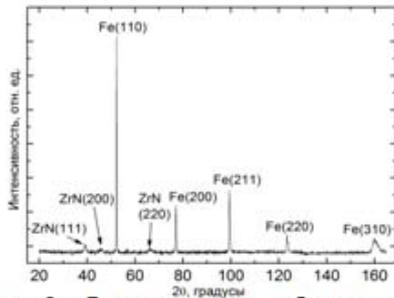


Рис. 2. Рентгенограмма образца стали ЭК-181, подвергнутого облучению пучками циркония

Металлографические исследования боковой грани образцов стали ЭК-181 показали, что в результате облучения пучками ионов  $Zr^+$  в образцах формируется модифицированный поверхностный слой, толщина которого составляет 6 мкм (рис. 3).

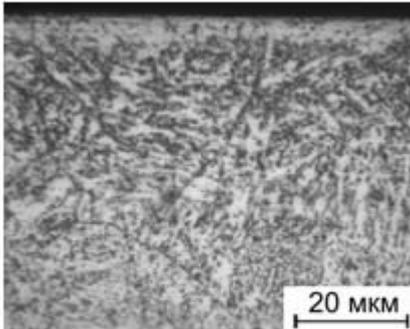


Рис. 3. Оптическое изображение боковой грани образца стали, облученного пучками  $Zr^+$  в среде азота

Как видно из таблицы 2., в результате воздействия ионными пучками наблюдается увеличение твердости поверхностного слоя до 15 ГПа. Упрочнение поверхности связано с формированием многослойной структуры, состоящей из нанокристаллического поверхностного слоя  $ZrN$  и высокодефектного приповерхностного слоя, имеющего твердорастворное упрочнение. Модифицированный поверхностный слой характеризуется высокой термической стабильностью: отжиг при температуре 700 °С в вакууме не приводит к заметным изменениям его структуры и механических характеристик.

Таблица 2. Средний размер зерна (d) и твердость (H) поверхностного слоя образцов стали ЭК-181

Режим обработки	d, нм	H, ГПа
Закалка+старение	-	3,6
Закалка+старение+облучение ионными пучками $Zr^+$	150	15

Механические испытания на одноосное статическое растяжение показали, что пределы текучести и прочности образцов стали ЭК-181, подвернутых закалке и старению, составляют 475 и 650 МПа, соответственно (рис. 4, кривая 1). Изменение структурно-фазового состояния поверхности материала в результате облучения пучками  $Zr^+$  обуславливает увеличение как предела текучести (до 600 МПа), так и прочности (до 725 МПа) и незначительное снижение пластичности (рис. 4, кривая 2).

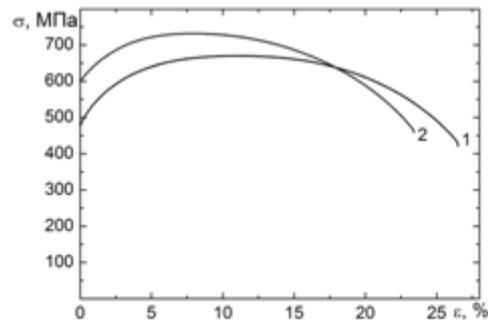


Рис. 4. Кривые «напряжение-деформация» образцов стали ЭК-181 до (1) и после облучения ионными пучками  $Zr^+$  (2)

### Заключение

Проведенными исследованиями показано, что обработка образцов стали ЭК-181 пучками  $Zr^+$  приводит к формированию термически стабильной многослойной структуры, состоящей из нанокристаллического поверхностного слоя  $ZrN$  и высокодефектного приповерхностного слоя. Подобное изменение структурно-фазового состояния поверхностного слоя образцов стали ЭК-181 обуславливает значительное увеличение механических характеристик материала.

### Литература:

1. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Д.М. Поута, Г. Фоти, Д.К. Джекобсона – М.: Мир, 1987. – 424 с.
2. Углов В.В., Черенда Н.Н., Стальмошенков Е.К. и др. Элементный и фазовый состав системы цирконий/сталь, перемешанной воздействием компрессионных плазменных потоков // Физика и химия обработки материалов. – 2007. – № 1. – С. 40 – 45.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПУЧКОМ ИОНОВ $Zr^{+}$ НА ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 12Х1МФ

Власов И.В., Панин С.В., Сергеев В.П.

Научный руководитель: Панин С.В. д.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [good0@yandex.ru](mailto:good0@yandex.ru)

### 1. Введение

подавляющее большинство изделий и деталей машин при эксплуатации испытывает воздействие переменных нагрузок, что может являться причиной их усталостного разрушения. Поэтому, несмотря на многолетнюю историю исследований и огромное количество публикаций в научно-технической литературе проблема изучения и прогнозирования усталостного разрушения является крайне актуальной [1].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния наноструктурирования поверхностного слоя стали 12Х1МФ ионами  $Zr^{+}$  на повышение ее усталостной прочности.

### 2. Материал и методика исследований

В работе исследовали образцы теплостойкой стали 12Х1МФ, предназначенной для изготовления труб пароперегревателей и оборудования, эксплуатируемого при температуре 570-585°C. Выбор материала исследований обусловлен тем, что данная сталь не испытывает структурных изменений при температуре, при которой происходит процесс наноструктурирования поверхностного слоя ионным пучком. Кроме того, данная сталь является достаточно вязкой, поэтому исследование процессов локализованной деформации и разрушения в условиях приложения циклической нагрузки должно обеспечить большую наглядность и меньшую скорость протекания деформационных процессов.

Из фрагмента трубы вырезали плоские образцы размером 70×10×1 мм. В качестве концентратора напряжения в образцах изготавливали отверстие диаметром 2 мм. Образцы без обработки и после наноструктурирования поверхностного слоя испытывались на статическое растяжение, циклическое растяжение и циклический знакопеременный изгиб.

В исходном состоянии сталь 12Х1МФ имеет феррито-перлитную структуру с характерным размером зерна 30÷50 мкм. Ионное наноструктурирование поверхностного слоя образцов проводили с помощью сильноточного вакуумно-дугового источника металлических ионов на установке УВН-0,2 «Квант». Образцы были разделены на 2 группы: а) в состоянии поставки (далее исходном) и б) подвергнутые ионному наноструктурированию поверхностного слоя ионным пучком циркония  $Zr^{+}$

### 3. Результаты экспериментов

Структура поверхностного слоя стали в исходном состоянии, представлена крупными феррит-

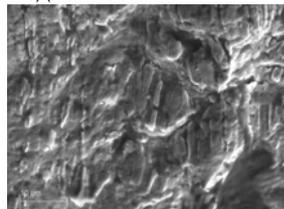
ными зёрнами >1 мкм с включениями цементита ( $Fe_3C$ ), средний размер которых составляет 120 нм. Состав стали после наноструктурирования потоком ионов  $Zr^{+}$  представлен фазами  $FeZr_2$ ,  $Fe_3Zr$  и зёрнами феррита. Средний размер зёрен в поверхностном слое составляет 150 нм. С помощью наноиндентора измеряли нанотвёрдость образцов обоих типов. Выявлено, что наноструктурирование пучком ионами  $Zr^{+}$  обуславливает повышение нанотвёрдости в 1.5 раза; одновременно в 2 раза снижается модуль упругости. Проведён структурно-фазовый микроанализ образца после обработки свидетельствующий о том, что общее содержание циркония в поверхностном слое составляет порядка 14,2 %.

*Испытания на статическое растяжение.* Результаты испытаний на статическое растяжения показали, что в результате наноструктурирования поверхностного слоя относительное удлинение снизилось на 19 %, а предел прочности повысился на 20%.

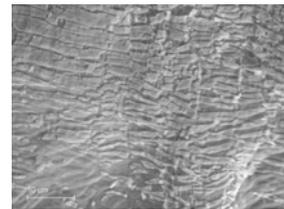
С помощью растровой электронной микроскопии сделаны фотографии поверхности разрушенных образцов. У образцов с наноструктурированным поверхностным слоем видно, что разрушение данного слоя (толщину которого можно оценить в несколько микрон) имеет хрупкий, при этом происходит интенсивное множественное мелкое растрескивание наноструктурированного слоя (рис. 1,б).

*Испытания на циклическое растяжение.* Проведены испытания на циклическое растяжение образцов без обработки и после наноструктурирования поверхностного слоя показавшие, что количество циклов до разрушения образцов с модифицированным поверхностным слоем повысилось в 2-3 раза. Одновременно увеличилось время до появления трещины в ~2-3 раза.

По полученным оптическим снимкам были построены графики зависимости длины трещины от количества циклов (рис. 2,а). В образце с наноструктурированным поверхностным слоем трещина зарождается значительно позднее и развивается медленнее.



а)



б)

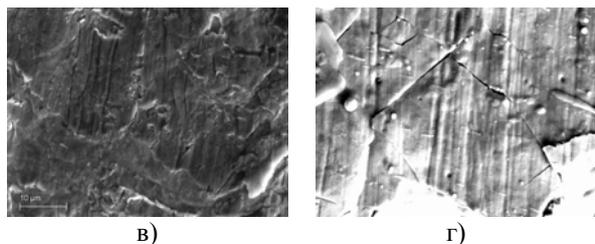


Рис. 1. РЭМ-микрофотографии поверхности образцов после испытаний на статическое растяжение (а,б) и циклическое растяжение (в,г): а,в) образец без обработки; б) образец с наноструктурированным поверхностным слоем. Ось растяжения ориентирована вертикально

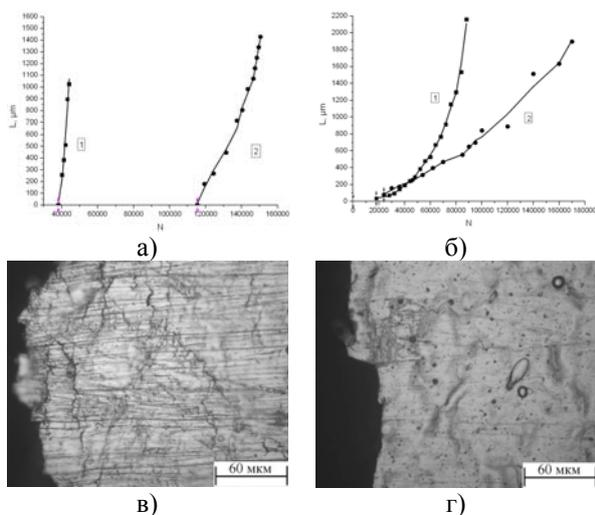


Рис. 2. Графики зависимости длины трещины от количества циклов; а) циклическое растяжение; б) циклический изгиб 1) без обработки; 2) с наноструктурированным поверхностным слоем; в,г) фотографии поверхности разрушенных образцов; в) без обработки; г) с наноструктурированным поверхностным слоем

На рис. 1,в,г показаны микрофотографии, полученные в области роста усталостной трещины характеризуют хрупкий характер разрушения поверхностного наноструктурированного слоя, по сравнению с образцом без обработки. Видно, что поверхностный слой наноструктурированного образца мелко растрескался, что не приводит к заметной локализации деформации.

*Испытания на циклический знакопеременный изгиб.* Согласно данным проведенных испытаний, усталостная долговечность образцов при циклическом знакопеременном изгибе в результате наноструктурирования поверхностного слоя повысилась в ~2 раза. По полученным оптическим снимкам были построены графики зависимости длины трещины количества циклов изгиба (рис. 2,б).

Здесь трещина у обоих типов образцов зарождается примерно в один и тот же момент, но при этом скорость роста трещины значительно отличается.

На фотографии поверхности разрушенных образцов видно, что в образце без обработки вблизи места разрушения (область максимальной кривизны) формируются протяженные тонкие складки, способствующие появлению трещины (рис. 2,в). В наноструктурированном слое количество таких складок заметно меньше, а деформационный рельеф более гладкий и изменяется более плавно (рис. 2,г).

Проведен анализ шероховатости поверхности ( $Ra$ ) разрушенных образцов. У образцов без обработки данное значение более чем в 1,5 раза выше по сравнению с образцом с наноструктурированным поверхностным слоем.

#### 4. Заключение

При циклическом растяжении максимальные напряжения распределены по всему сечению образца, в области концентратора напряжения, и наноструктурированному поверхностному слою удаётся длительное время сдерживать развитие интенсивной пластической деформации на поверхности, в то время как в необработанном образце формируется грубый деформационный рельеф. Именно последний обуславливает более раннее зарождение (микро)трещин в поверхностном слое и снижение усталостной прочности. Разрушение же наноструктурированного поверхностного слоя характеризуется мелким множественным растрескиванием и не сопровождается макролокализацией деформации. Причина повышения усталостной прочности связана, прежде всего, с задержкой возникновения магистральной трещины.

При изгибе максимальные напряжения возникают на поверхности образца. Модифицированный поверхностный слой при таких напряжениях не способен задержать возникновение усталостной трещины, что приводит к одновременному её появлению в образцах обоих типов. Однако в наноструктурированном образце поверхность является более гладкой, а деформационный рельеф более равномерно сформирован на поверхности. Это позволяет снизить скорость роста трещины и повысить усталостную долговечность образца.

#### Литература:

1. Шанявский А.А. Безопасное усталостное разрушение элементов авиаконструкций: синергетика в инженерных приложениях. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 802 с.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

Гавриленко А.С., Забугин А.В.

Научный руководитель: Гончаренко И.М., к.т.н., доцент

Институт физики высоких технологий Томского политехнического университета,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

В различных отраслях промышленности для повышения эксплуатационных характеристик деталей и режущего инструмента используются защитные покрытия. Высокое качество продукции машиностроения и инструментального производства обеспечивается различными методами модификации функциональных слоев, среди которых все большее распространение получают вакуумные ионно-плазменные технологии нанесения износостойких покрытий из карбидов, нитридов, боридов и оксидов переходных металлов. В последнее время интенсивно ведутся работы, связанные с получением вакуумно-дуговым и магнетронным методами нового поколения композиционных материалов, имеющих нанокристаллическую (~10 нм) структуру, в виде сплошных однослойных и многослойных покрытий. Новые уникальные физические и функциональные свойства нанокompозитных покрытий, среди которых высокие твердость и термостойкость, являются основной движущей силой стимулирующей развитие этих материалов [1-2]. Однако покрытия указанного типа не всегда обрабатывают спрогнозированный ресурс из-за преждевременного адгезионно-когезионного разрушения, вызываемого как эксплуатационными нагрузками, так и сложным напряженным состоянием в покрытии и на границе раздела покрытие – подложка. Поэтому при решении задачи эффективного применения износостойкого покрытия на том или ином материале подложки необходимо обеспечить его надежное сцепление с последним.

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты формирования наноструктурных покрытий системы Ti-Al-N, обладающие твердостью 30-40 ГПа при распылении порошкового спеченного катода Ti-Al дуговым разрядом. Проведены сравнительные исследования влияния предварительного легирования обрабатываемой поверхности подложек рядом различных элементов на изменения адгезии функциональных покрытий, напыляемых при идентичных параметрах технологического процесса. Повышение эффективности и очистка плазменного потока дугового разряда от макрочастиц, генерируемых с холодного катода, реализовывалось путем пропускания плазмы через криволинейное электромагнитное поле.

Формирование экспериментальных покрытий проводилось на модернизированной установке ННВ-6.6-И1, оснащенной электродуговым испари-

телем с устройством в виде криволинейного плазмодода для отсечки микрокапельной фракции, источником газоразрядной плазмы для ионизации рабочего газа и импульсным источником питания отрицательного смещения, подаваемого на вращающийся стол с установленными на нем образцами. Основные параметры плазменно-ассистированного нанесения нитридного покрытия, получаемых в рамках настоящего этапа работы, были выбраны в следующих диапазонах: образцы устанавливались в центре рабочей камеры и вращались во время напыления на расстоянии ~30 см от источников плазмы, давление газа в рабочем пространстве камеры – 0,2 ÷ 0,4 Па; ток разряда дугового испарителя – 50А; ток разряда газового плазмодогенератора – 5-20 А; отрицательное смещение 0-300 В (стационарный и частотно-импульсный режимы); температура образцов – 200-300 °С; время напыления – 30-120 мин. В качестве катодов испарителя использовали композиционный материал  $Ti_{0,6}Al_{0,4}$ , полученный методом вакуумного спекания спрессованной порошковой массы. Выбор покрытия системы Ti-Al-N для иллюстрации зависимости его свойств от параметров процесса получения обусловлен его высокой эффективностью и перспективностью применения в машиностроении, особенно на режущих инструментах. При сохранении высоких физико-механических свойств при температурах эксплуатации вплоть до 850 °С эти покрытия обладают дополнительным важным качеством, а именно: при нагревании на воздухе структура поверхности трансформируется в плотный слой окиси алюминия, препятствующий адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом. Подложки, на которые наносили покрытие, изготавливались из сплава ВК8, предварительно механически отполированные до низкой шероховатости поверхности ( $Ra \sim 0,02$ ). Перед нанесением композиционного покрытия поверхность подложек модифицировали в результате обработки ионами азота, титана и хрома методом высокоэнергетической ионной имплантации.

Оценка функциональных свойств пленок TiAlN в зависимости от основных параметров процесса проводилась по результатам измерений критических нагрузок, приводящих к возникновению трещин или адгезионному отслоению конденсата от подложки. Результаты по определению адгезионно-когезионной прочности покрытия, сформиро-

ванного на подложках четырех типов включая исходный, получали с помощью прибора Micro-Scratch-Tester CSEM Instruments, в котором проводят измерительное царапание изучаемой поверхности алмазным конусом типа Rockwell с радиусом 20 мкм при непрерывно нарастающей нагрузке от 0,1 до 10 Н на базе 10 мм.

Механические свойства поверхности любого твердого тела характеризуются твердостью, коэффициентом упругого возврата  $W_e$ , приведенным модулем упругости  $E$  (модулем Юнга). Эти величины были определены из кривых «нагружение-разгрузка», получаемых динамическим методом Оливера-Фарра. При внедрении алмазного индентора (например, Виккерса) в образец создается сложное напряженное состояние, деформация имеет как упругую, так и пластическую составляющую. Глубина индентирования определяет твердость материала. Площадь под кривой разгрузки примерно соответствует энергии упругой деформации. Благодаря измерениям наибольшей глубины погружения ( $h_{max}$ ) и глубины после снятия нагрузки ( $h_f$ ) рассчитывается коэффициент упругого восстановления  $W_e = (h_{max} - h_f) / h_{max}$ . Как правило, твердость и модуль Юнга коррелируют между собой в определенной степени. Зная эти величины, можно оценить уровень сопротивления материала пластической деформации, который тем выше, чем больше значение отношения  $H^3/E^2$ .

Для каждого образца с покрытием толщиной  $d \sim 2$  мкм было выполнено по 5 измерений при скорости нагружения 50 мН/мин. Для определения значений механических свойств покрытий TiAlN не только от режимов нанесения, но и от свойств подложки, на которой формируется пленка.

Полученные в настоящей работе пленки TiAlN характеризуются упругим восстановлением  $W_e$ , достигающим 50–70% (Табл. 1). Причем величина этого параметра изменяется не только с изменением потенциала смещения ( $U_{см}$ ), подаваемого на образцы в процессе нанесения покрытия, но и зависит от типа материала подложки. Влияние материала подложки также прослеживается при измерении твердости и модуля упругости. Экспериментальные результаты показывают точную корреляцию между адгезионно-когезионной прочностью и механическими свойствами покрытий в зависимости от технологического режима.

Таблица 1 – Результаты физико-механических свойств при потенциале смещения 0 В.

	$W_e, \%$	$H/E$ , отн. ед.	$H^3/E^2$ , ГПа
TiAlN на BK8	48	0,052	0,09
TiAlN на BK8, азотирован	45	0,049	0,06

TiAlN на BK8, имплантирован Cr	35	0,050	0,07
--------------------------------	----	-------	------

Таблица 2 – Результаты физико-механических свойств при отрицательном потенциале смещения 300 В

	$W_e, \%$	$H/E$ , отн. ед.	$H^3/E^2$ , ГПа
TiAlN на BK8	64	0,087	0,25
TiAlN на BK8, азотирован	61	0,068	0,21
TiAlN на BK8, имплантирован Cr (хромом)	47	0,045	0,05

Из результатов скретч-тестов установлено, что предварительное легирование поверхности твердого сплава атомами азота и хрома оказывает заметное влияние на адгезионные характеристики покрытия, нанесенного при одинаковых параметрах режима конденсации. Так, например, для покрытий, сформированных при потенциале смещения равным нулю, параметр  $F_{n1}$ , характеризующий начало разрушения покрытия для композиции азотирование-покрытие составляет 10 Н, в то время как для композиции хромирование-покрытие – 8,9 Н. Для исходного сплава с покрытием это значение – 6,2 Н.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что твердость, упругопластические характеристики и адгезию нанокристаллических покрытий, а также их эксплуатационные характеристики определяют, наряду с многочисленными факторами режимов напыления, свойства материала подложки. Поэтому в каждом конкретном случае для достижения желательных результатов необходимо сочетать оптимизацию процесса осаждения с предварительной модификацией поверхности подложки.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Hörling A., Hultman L., Oden M., Sjölen J., Karlsson L. Mechanical properties and machining performance of  $Ti_{1-x}Al_xN$ -coated cutting tools // Surf. Coat. Technol. 2005, v.191, p.384–392.
2. Коротаев А.Д., Тюменцев А.Н., Пинжин Ю.П., Овчинников С.В., Мошков В.Ю., Коваль Н.Н., Гончаренко И.М. Структурно-фазовое состояние нанокристаллических покрытий нитридов металлов. // ФХОМ, 2006, № 6, с. 32–40.

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИУРЕТАНОВ ГОРЯЧЕГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Горбунов Ф.К., Байкина Л.К.

Научный руководитель: Полубояров В.А., д.х.н., профессор, в.н.с.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

E-mail: [sanych@solid.nsc.ru](mailto:sanych@solid.nsc.ru)

### Введение

Полиуретановые эластомеры являются весьма универсальным материалом, благодаря своим исключительным прочностным свойствам они применяются везде, где от материала требуется стойкость к истиранию, повышенная прочность и эластичность, высокое сопротивление к раздиру, сочетание пластичности с твердостью. Применение полиуретанов горячего расплава ограничено вследствие более низкой механической прочности относительно полиуретанов холодного отверждения [1]. Поэтому повышение данного показателя полиуретанов является весьма актуальной задачей, которая осуществляется за счет его модификации.

В настоящей работе предложен физический способ модификации полиуретанов горячего расплава, путем введения нанодисперсных керамических частиц корунда в состав полимера на стадии его синтеза. Применение данного вида наполнителя актуально тем, что он является химически инертным (нетоксичными), экологически безопасными. Кроме того, данный компонент – это доступный, дешевый материал, применение которого дает возможность варьирования свойств полиуретанового материала в широких пределах, а так же получение полимера с комплексом заданных свойств.

### Экспериментальная часть

Литьевые полиуретаны горячего отверждения получали на основе форполимера уретанового SKU ПФЛ-74 и отвердителя уретановых преполномеров МОСА (4,4' - метилен-бис (ортохлоранилин)) (сшиватель) путем отверждения в литьевой форме по методике [2].

Для исследования влияния нанодисперсного корунда (средний размер частиц  $d = (41,15 \pm 0,62)$  нм) на свойства литьевых полиуретанов горячего отверждения были получены образцы с различным содержанием (0,0001...1 %) в них наполнителя, введенного на стадии получения рабочего расплава.

Полученные образцы литьевого полиуретана были исследованы на ряд физико-механических показателей, таких как плотность, прочность на разрыв, удлинение при разрыве, остаточную деформацию при удлинении, твердость по Шору А.

Для определения плотности образцов литьевых полиуретанов был использован метод гидростатического взвешивания. Для проведения испытания применялись лабораторные весы ВЛР-200 по ГОСТ 24104-88 2-го класса точности с приспособлением для гидростатического взвешивания [3].

Измерения прочностных характеристик проводились на разрывной машине РТ-250М-2 [4].

Кроме того был проведен дифференциальный термический анализ (ДТА) и спектроскопия комбинационного рассеивания (КР) исходных (немодифицированных) и модифицированных образцов литьевых полиуретанов.

### Результаты и их обсуждения

В ходе выполнения работы были получены образцы исходного и модифицированного керамическими частицами литьевого полиуретана.

В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что при введении нанодисперсного керамического наполнителя в структуру литьевого полиуретана происходит изменение его физико-механических свойств.

Введение керамического наполнителя в количестве 0,001 % приводит к улучшению прочностных характеристик модифицированного литьевого полиуретана: происходит увеличение плотности до  $1,11 \text{ г/см}^3$ , удлинения при разрыве с 284,7 до 302,%, предел прочности данного образца на испытательной машине РТ-250М-2 определить не удалось в связи с нехваткой рабочего хода оборудования. Полученный результат связан с тем, что происходит гомогенное распределение керамического наполнителя в объеме образца, выступающих в качестве центров (зародышей) полимеризации полимера. Такое распределение ведет к увеличению однородности структуры, соответственно, и усилению межмолекулярного взаимодействия между макромолекулами полимера.

Влияние керамического наполнителя на структуру полимера хорошо демонстрирует спектры КР (рис. 1). На спектре КР образца, наполненного 0,001 % корундом (рис. 1, кривая 2) происходит увеличение интенсивности пиков, отвечающих колебаниям связей  $\text{C}=\text{O}$  ( $1680 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{N}-\text{H}$  ( $1450 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{C}-\text{N}$  ( $1250 \text{ см}^{-1}$ ), входящих в состав мочевиновой ( $\text{N}-\text{C}(\text{O})-\text{N}-\text{H}$ ), уретановой групп ( $\text{N}-\text{C}(\text{O})-\text{O}$ ), и  $\text{C}-\text{H}$ -группы ( $2920 \text{ см}^{-1}$ ) бензольного кольца. Данный эффект связан с тем, что введение керамического наполнителя в литьевой полиуретан приводит к изменению конформации макромолекул полимера. В структуру изучаемого полиуретана входят бензольные кольца, уретановые, мочевиновые группы и другие элементы. Рассмотрим более подробно электронную конфигурацию фрагмента полиуретана, состоящую из бензольного кольца.

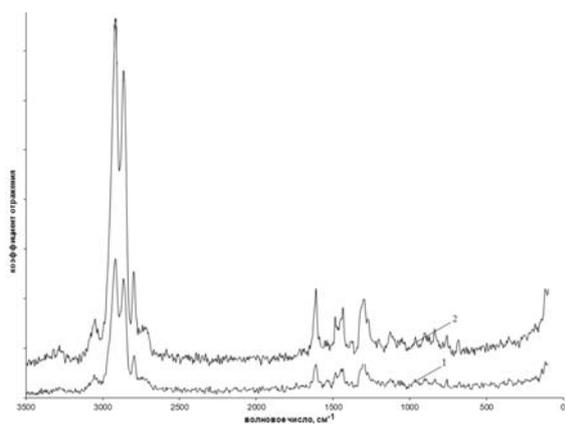


Рисунок 1. Кривые КР анализа: 1 – немодифицированного и 2 – модифицированного 0,001% нанодисперсным корундом образцов литьевых полиуретанов.

В бензольном кольце, где атомы углерода находятся в  $sp^2$ -гибридизации, шесть р-орбиталей взаимно перекрываются, в результате появляется единая замкнутая  $\pi$ -электронная оболочка, стабильная система.

В мочевиновой группе присутствуют атомы азота, которые имеют по неподеленной паре электронов. Атом углерода образует с атомом кислорода двойные связи ( $\sigma$ - и  $\pi$ -связь), а с атомом азота одинарные связи ( $\sigma$ -связь). Неподеленная электронная пара электронов азота располагается на р-орбитали и как только эта орбиталь будет находиться в одной плоскости с другой р-орбиталью, например, близлежащего атома углерода из мочевиновой группы или атома углерода из бензольного кольца, то будет образовываться новая  $\pi$ -связь. Аналогично  $\pi$ -связь образует атом азота либо с атомом углерода из мочевиновой группы, либо с атомом углерода близлежащего бензольного кольца.

Аналогично  $\pi$ -связи могут образовываться между атомами уретановой группой и атомами бензольного кольца.

Поскольку атомы азота за счет своей неподеленной пары могут образовывать делокализованные связи, то за счет этого может образовываться достаточно протяженная система  $\pi$ -связей, следовательно, поляризуемость такой системы значительно увеличивается и, соответственно, увеличится интенсивность пиков КР этих связей [5].

Бензольное кольцо и мочевиновая (уретановая) группа – это две «независимые» части одной молекулы, которые могут вращаться друг относительно друга по связи С-N. В исходном полиуретане в результате синтеза макромолекулы в пространстве могут располагаться как угодно, и плоскости р-орбиталей, например, бензольного кольца и мочевиновой группы могут не совпадать. Но при введении наполнителя происходит обволакивание полимером наночастиц, что уменьшает межмолекулярное взаимодействие макромолекул полимера друг с другом. Поэтому та энергия, которая шла на

образование межмолекулярных связей компенсируется изменением внутренней энергии макромолекулы, а именно, изменением конформации. Изменение конформации идет с уменьшением энергии [5] и заключается в образовании  $\pi$ -комплекса между  $\pi$ -системой молекулы бензола, неподеленной парой атома азота и  $\pi$ -связью в группе С=О при которой плоскости р-орбиталей совпадают. Это приводит к увеличению интенсивностей пиков КР соответствующих связей [5].

Поэтому, увеличение интенсивности пиков КР при введении определенного количества наполнителя доказывает уменьшение межмолекулярных связей между молекулами форполимера, что приводит к более полной реакции со швивателем.

Таким образом, были получены образцы литьевого полиуретана, модифицированного нанодисперсным корундом в количестве 0,001 % с наилучшими физико-механическими показателями. Отклонение же от данной концентрации наполнителя в образце наоборот ведет к ухудшению его свойств, связанное с тем, что в этом случае нарушается равномерность распределения наночастиц в полимерной матрице, а, следовательно, и однородность структуры.

#### Выводы

1. Установлено, что нанодисперсные керамические частицы корунда, со средним размером частиц ( $41,15 \pm 0,62$ ) нм введенные в полиуретан горячего отверждения в количестве 0,001% приводят к улучшению его физико-механических показателей (увеличение плотности, удлинения при разрыве и др.) за счет более полного взаимодействия исходных компонентов и образования более однородной структуры.

2. Показано, что керамический наполнитель выполняет роль диспергатора глобул исходных реагентов, что приводит к увеличению удельной поверхности их соприкосновения и более полному протеканию реакции полимеризации.

#### Список литературы:

1. Бюист Дж.М. Композиционные материалы на основе полиуретанов. – М.: Химия, 1982.–240 с.
2. Рекомендация по переработке уретановых форполимеров в аппаратах периодического действия.
3. ГОСТ 15139-69, Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы).
4. Паспорт Гб2.773.072 ПС. Машина для испытания текстильных материалов РТ-250М-2. – Иваново: УУЗ Минэнерго СССР. 1986. – 47с.
5. Влияние механохимической обработки на структурные превращения в твердых органических кислотах / В.А. Полубояров, О.В. Андрушкова, И.А. Паули, А.А.Жданок // Сборник «Химический дизайн. Метакимия и нанотехнология дизайна в науке». – Новосибирск: Издательство Chem.Lab.NCD., 2009. – С. 63-88.

## Трибомеханические свойства нанослоистых покрытий на основе системы Cr-Al-N

Гордийчук Д.А., Сергеев В.П., Воронов А.В.

Научный руководитель: Сергеев В.П.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: [gord\\_4uk@mail.ru](mailto:gord_4uk@mail.ru)

Важное направление развития нанотехнологий и создания новых материалов связано с разработкой и исследованием нанокompозитных покрытий.

Нитрид титана (TiN) широко используются в качестве защитных твердых покрытий для режущих инструментов. При высоких скоростях резания из-за низкой окислительной стойкости на поверхности покрытия TiN начинает расти хрупкий слой оксида титана, который из-за низкой адгезионной прочности быстро разрушается. Более успешными были разработки покрытий системы TiAlN работающих в условиях высокоскоростной обработки благодаря высокой стойкости к окислению и твердости [1]. Однако, использование TiAlN покрытия при нормальных или низких температурах эксплуатации показывает незначительное улучшение из-за высокого коэффициента трения.

В последнее время исследования тройных нитридов было распространено и на другие материалы покрытий [2]. Как TiN, нитрида хрома (CRN) был успешно применен для штампов и режущих инструментов. Внедрение Al в TiN покрытия улучшает механические свойства покрытия и повышает окислительную стойкость. Аналогичный эффект может присутствовать и при добавлении Al в CrN покрытия. CrN покрытия обладают рядом преимуществ по сравнению с покрытиями TiN; такими как коррозионная стойкость, коэффициент трения и прочность. Таким образом, по сравнению с TiAlN, лучшие трибологические свойства можно ожидать у покрытий системы CrAlN

В недавних работах показано, что CrAlN покрытия имеют более высокую окислительную стойкость, чем TiAlN [2,3], хром и алюминий формирует защитный слой, который сдерживает диффузию кислорода.

Целью настоящей работы являлось разработка процесса осаждения нанослоистых покрытий на основе системы Cr-Al-N при одновременной работе магнетрона и ионного источника, а также исследование структуры покрытия, механических и трибологических свойств покрытий в зависимости от состава покрытий.

### 2. Методика эксперимента

CrAlN покрытия, толщиной около 5 мкм, были получены на установке вакуумного ионно-магнетронного напыления типа «Квант», схематически изображенной на рис.1. В основе работы схемы осаждения лежит одновременное напыление покрытия с помощью двух магнетронов с мишенями из Al и Cr диаметром

120 мм, и бомбардировки ионами хрома с помощью вакуумно-дугового ионного источника. Питание магнетронов осуществлялось от источников постоянного тока, оснащенных системой защиты от микродуг. Магнетроны располагались по периметру цилиндрической вакуумной камеры (рис.1) под углом 120° друг относительно друга и под углом 120° относительно нагревателя. Образец помещали вдоль вертикальной оси камеры и вращали в процессе напыления вокруг нее с постоянной угловой скоростью. Дистанция напыления составляла для обоих магнетронов величину 60 мм. Мощность разряда магнетрона поддерживалась в пределах 1.6...2.6 кВт (таблица 1). Покрытия осаждали в реактивной среде из смеси газов аргона и азота при общем давлении 0,3 Па и парциальном давлении азота- 0,06- 0,075 Па.

№ образца	I Cr, А	W ,кВт (мишень Cr)	W , кВт (мишень Al)	Содержание Al, ат. %
1 НХА 4	60	1,4	1,6	30%
1 НХА 6	60	-	2,1	63%
1 НХА 17	90	-	2,1	50%
1 НХА 18	120	-	2,1	40%
1 НХА 19	60	-	2,4	68%
1 НХА 20	50	-	2,6	75%

Таблица №1, Параметры нанесения покрытий.

Нагрев образцов в вакуумной камере перед напылением и поддержание температуры в процессе напыления покрытия осуществляли с помощью молибденового нагревателя (рис.1). Измерение температуры выполнялось с помощью хромель-алюмелевой термопары с точностью ± 5° С. Покрытия осаждались на нагретые до температур 280°С подложки, к которым дополнительно прикладывался постоянный потенциал смещения  $U_s = -50$  В.

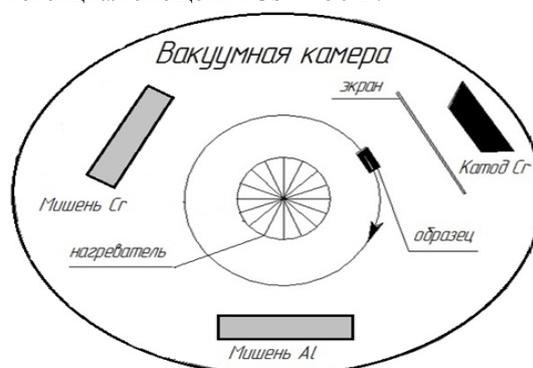


Рис.1. Схема осаждения покрытия.

В качестве подложек служили образцы в виде параллелепипедов с размерами 6×6×15 мм из

подшипниковой стали ШХ- 15, закаленной и отпущенной согласно стандартному режиму. Рабочие поверхности образцов шлифовали и полировали до Ra = 0,08 мкм. Перед помещением в вакуумную камеру образцы подвергались обезжириванию органическими растворителями, промывке этиловым спиртом и сушке. С целью уменьшения влияния случайных ошибок эксперимента на полученные результаты при каждом режиме напыления было получено и исследовано по 5- 6 образцов.

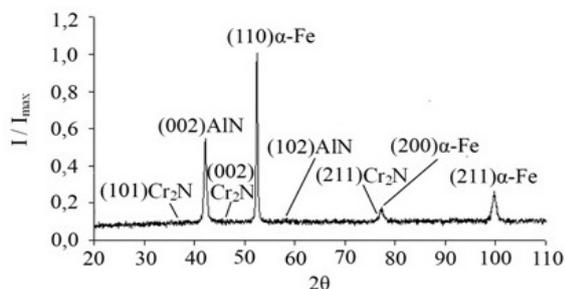
Структурно-фазовый состав покрытия исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре «ДРОН-7». Для определения адгезионной прочности покрытий использовался метод склерометрического анализа (царапания). Испытания проводились скретч-тестером REVETEST (CSM Instruments), морфология поверхности исследовали методом РЭМ «LEO EVO 50», размеры формируемых фаз и микрорентгеноспектральный элементный анализ с помощью ПЭМ «JEOM-2100». Износостойкость покрытий испытывали по схеме вал-колодка при помощи «СМТ-1».

### 3. Результаты эксперимента и обсуждение

Варьируя мощностью магнетронов, получали различное соотношение содержания Cr и Al в покрытии, что приводило к различному структурно-фазовому состоянию и свойствам. При исследовании фазового состава и структуры с помощью РСА путём индирования дифрактограмм с помощью картотеки ASTM (рис. 2) в покрытиях на основе Cr-Al-N обнаружено наличие двух фаз:

Cr<sub>2</sub>N с гексагональной плотноупакованной решеткой с параметрами решетки  $a = 0,4759$  нм и  $c = 0,4438$  нм [5],

AlN с гексагональной решеткой типа вюртцита P6<sub>3</sub>/mc с параметрами решетки  $a = 0,3104$  нм и  $c = 0,4965$  нм [4].



**Рис.2.** Рентгенограмма покрытия на основе Cr-Al-N, напыленного на подложку α-Fe

При испытании на износостойкость была

выявлена зависимость увеличения износостойкости с увеличением содержания Al в покрытии, максимальная износостойкость наблюдалась при 63 ат.% Al, это сочетание близко к критическому сочетанию фазового перехода из кубической структуры В1в В4 структура типа вюртцита. Такая же зависимость наблюдается и для микротвердости покрытия (таблица 2).

№ обр.	Al, ат. %	Износостой- кость, с/мг	Адгезия, Н	Микротвер- дость, Гпа
13	30	3400±530	25,8	21,6
18	40	4000±650	28	25,6
17	50	6400±1300	34	24
12	63	7200±850	26,4	25,8
19	68	3200±650	19	18,8
20	75	2400±0	16	16

### 4. Выводы

-С помощью одновременного осаждения с использованием магнетрона с алюминиевой мишенью и бомбардировки ионами хрома с помощью вакуумно-дугового ионного источника получены нанокompозитные покрытия состоящие из двух фаз Cr<sub>2</sub>N и AlN.

-Определены оптимальные химический и фазовый составы покрытий, с высокой износостойкостью а также с высокими механическими характеристиками..

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Штанский Д.В. Левашов Е.А. Многокомпонентные наноструктурные тонкие пленки: проблемы и решения. //Известия вузов. Цветная металлургия.– 2001.–№3.–С.52.
2. Musil J. Hard and superhard nanocomposite coatings. //Surf. Coat. Tehnol. – 2000. –V. 125. – P.322-330.
3. Jong-Keuk Park, Young-Joon Baik The crystalline structure, hardness and thermal stability of AlN/CrN superlattice coating prepared by D.C. magnetron sputtering. //Surf. Coat. Tehnol. – 2005. –V. 200. – P.1519-1523.
4. Гольдшмидт Х.Дж. Сплавы внедрения. Вып.1.– М.: Мир, 1971.– 424 с.
5. Самсонов Г.В. Неметаллические нитриды.– М.: Металлургия, 1969.– 265с.

## ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ РЕЗИСТИВНОЙ МАСКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОПЛАВЛЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СУБМИКРОННОГО Т-ОБРАЗНОГО ЗАТВОРА ТРАНЗИСТОРА

Гребнева Ю. Ю.<sup>1</sup>, Иштуткин С. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 40

Научный руководитель: Анищенко Е. В.<sup>2</sup>, ведущий инженер

<sup>2</sup>ЗАО НПФ «Микран», 634045, Россия, г. Томск, ул. Вершинина 47

E-mail: [Ultrafiolet90@mail.ru](mailto:Ultrafiolet90@mail.ru)

Полупроводниковые приборы и монолитные интегральные схемы на основе транзисторов с высокой подвижностью электронов НЕМТ (High Electron Mobility Transistor) являются базовыми компонентами СВЧ электроники и широко применяются в системах цифрового спутникового телевидения, сотовой телефонии, для космических и военных целей.

СВЧ-параметры прибора в целом определяются характеристиками транзистора, а точнее длиной затвора. Для транзисторов с высокой подвижностью электронов изготавливают затворы Т-образной формы с длиной основания 150 нм и менее и большой площадью сечения верхней части [1]. Такой затвор обладает меньшим сопротивлением и емкостью, что позволяет повысить рабочую частоту транзистора.

Для изготовления Т-образных затворов используются многослойные системы резистов, представляющих собой тонкие пленки полимерных материалов, рисунок в которых создается методом электронно-лучевой литографии.

Для того чтобы уменьшить длину затвора применяют различные технологические методы, одним из которых является термическое оплавление резиста [2]. Суть метода заключается в температурном воздействии на резист со сформированным изображением, в результате которого происходит уменьшение исходных размеров элементов топологии в резисте. Преимуществом метода является возможность плавно варьировать длину затвора с помощью прецизионного контроля температуры в процессе обработки резистивных слоев.

Целью данной работы являлась разработка трехслойной резистивной маски для создания Т-образного затвора с длиной основания 100-70 нм. Для этого проводилось исследование влияния температуры на размер элементов топологии в позитивном электронном резисте.

В качестве нижнего слоя использовали коммерческий резист на основе полиметилметакрилата 950 РММА (MicroChem corp., США), чувствительный к электронному лучу и обладающий высокой разрешающей способностью. Методика формирования многослойной маски заключалась в следующем: на пластину GaAs диаметром 100 мм методом центрифугирования наносился позитивный резист 950 РММА. Сушка резиста осуществлялась на нагревательной плите Sawatec HP-401. Затем проводилось экспонирование на электронном литографе Raith 150<sup>two</sup> с ускоряющим напря-

жением 30 кВ. Для экспонирования использовали топологию, представляющую собой набор прямоугольников шириной 0,05 мкм и длиной 500 мкм. Доза экспонирования 950 РММА составляла 450 мкКл/см<sup>2</sup>. Экспонированные области резиста проявлялись в смеси органических растворителей метилизобутилкетона и изопропилового спирта. Время проявления определялось экспериментально по качеству вскрытых окон в резисте. Выбор режимов экспонирования и проявления определял исходный размер окна в резисте. Контроль полученного изображения в слое резиста выполнялся с помощью электронного микроскопа Raith 150<sup>two</sup> при увеличении 50 000 – 60 000х. Затем пластину делили на образцы, и каждый из них выдерживали при определенной температуре на нагревательной плите (табл. 1) с целью уменьшения исходного размера окна сформированного в резисте. Оптимальная температура, которая необходима для получения требуемой длины затвора, подбиралась экспериментально.

Таблица 1. Режимы термообработки резиста

Резист	№ образца	Температура, Т, °С	Время, t, мин.
950 РММА	1	0	0
	2	130	15
	3	150	15
	4	160	15
	5	170	15

Окно, полученное после проявления в нижнем резисте 950 РММА, который не подвергался термическому воздействию, имеет профиль с отрицательным наклоном стенок. Исходный размер окна на границе с подложкой, составил 145 нм (рис. 2а).

Обработка сформированного изображения при 130°С приводит к сглаживанию формы профиля в резисте и уменьшению исходного размера окна до 109 нм (рис. 2б). При повышении температуры термообработки до 160°С размер окна составляет 70 нм, при этом профиль в резисте становится более пологим (рис. 2в). Дальнейшее увеличение температуры до 170°С приводит к значительному растеканию резиста и исчезновению окна (рис. 2г).

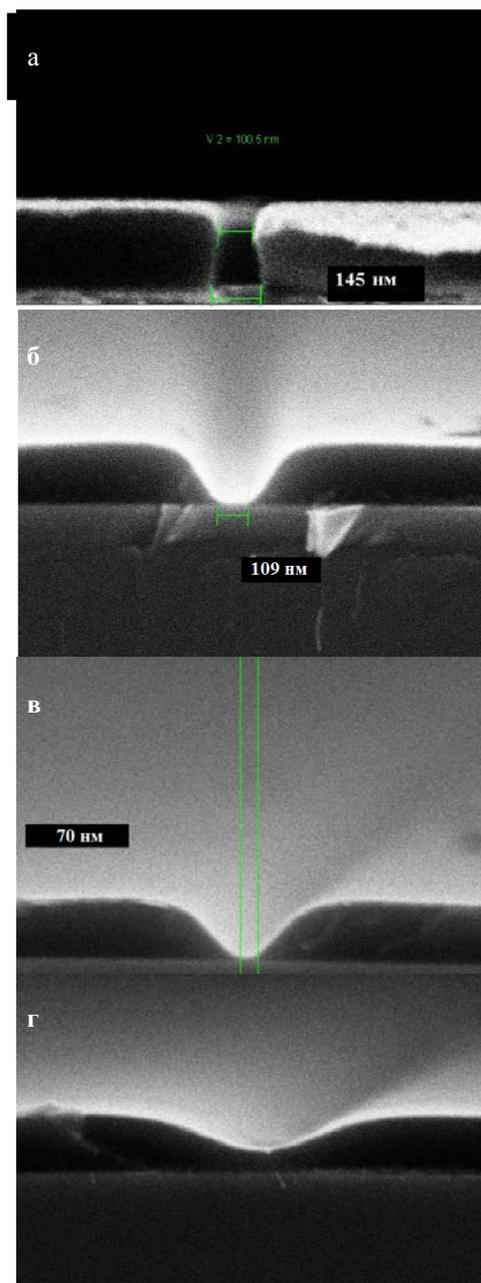


Рис.1. – Профиль окна в резисте 950 ПММА А4 при различных температурах обработки: а – без воздействия температуры; б – температура оплавления 130 °С; в – температура оплавления 160 °С; г – температура оплавления 170 °С;

Наблюдаемые изменения связаны с тем, что при нагревании резиста выше температуры стеклования (для полиметилметакрилата  $T_g = 105^\circ\text{C}$ ) связь между макромолекулами ослабевает и резист становится более пластичным, размягчается. Это приводит к тому, что поверхностное натяжение полимерного резиста уменьшается, что способствует сглаживанию профиля изображения, растека-

нию резиста и уменьшению размеров элементов топологии [4].

Далее на нижний слой 950 ПММА со сформированным в нем изображением последовательно наносились резисты LOR 5В и 495 ПММА (Micro-Chem corp., США). Экспонирование и проявление резистов осуществлялось согласно методике, подробно рассмотренной в работе [3]. Полученная многослойная маска представлена на рис.2.

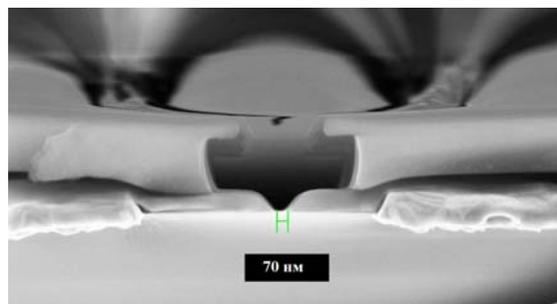


Рис. 2 – Трехслойная маска для формирования Т-образного затвора

Таким образом, в результате работы была получена трехслойная резистивная маска для создания затвора Т-образной формы для НЕМТ.

Метод оплавления, использованный в данной работе, позволяет управлять размером окна в резисте и соответственно получать требуемую длину затвора транзистора. Уменьшение размеров топологических элементов достигается повышением температуры термообработки. Минимальный размер окна в резистивной маске, полученный методом оплавления нижнего слоя резиста составил 70 нм.

Список литературы

1. The International Technology Roadmap for Semiconductors, <http://www.itrs.net/>;
  2. The Japan Society of Applied Physics, New Nanometer T-Gate Fabricated by Thermally Reflowed Resist Technique, Ed. Huang-Ming LEE, Edward Yi CHANG, Szu-Hung CHEN and Chun-Yen CHANG, 2002;
- The formation of multilayer resist mask for transistor T-gates fabrication using electron-beam lithography, Anishchenko, E.V.; Erofeev, E.V.; Ishutkin, S.V.; Kagadei, V.A.; Nosaeva, K.S.; Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2011 International Conference and Seminar of Young Specialists on Date: June 30 2011-July 4 2011;
- Моро У. Микролитография: Принципы, методы, материалы: ч. 2 / У. Моро. – М.: Мир, 1990. – ISBN 5-03-001717-8.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕХАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ Nb И СИСТЕМЫ Nb-Al

Денисов К.И.

Научный руководитель: Дитенберг И.А., к.ф.-м.н.

Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: [Denisov\\_ki@mail.ru](mailto:Denisov_ki@mail.ru)

Метод механической активации (МА) порошковых материалов в шаровых мельницах, помимо перемешивания плохо взаимодействующих либо несмешиваемых компонент и низкотемпературного синтеза соединений [1], позволяет достигать больших степеней пластической деформации с формированием структурных состояний, характеризующихся высокой плотностью дефектов кристаллического строения. Важным вопросом при использовании МА является выбор метода компактирования, необходимого для получения объемных образцов. Использование для этой цели метода кручения под давлением (КПД) обладает таким преимуществом как возможность эффективного компактирования при относительно низкой температуре, что не приводит к релаксации высокодефектных структурных состояний. Кроме того, при КПД осуществляется дополнительная деформационная обработка, степень деформации при которой зависит от расстояния до оси кручения, что позволяет исследовать эволюцию структуры и свойств материала при кручении с использованием минимального количества образцов.

Как было показано в [2, 3], МА порошка Nb и смеси Nb+Al в планетарной шаровой мельнице приводит к формированию различных фракций частиц: от наночастиц с размерами несколько десятков нанометров до крупных конгломератов с размерами до сотен микрометров (рис. 1), что сопровождается существенным упрочнением материала. Микроструктура порошинок при этом характеризуется двухуровневыми структурными состояниями – нанозернами с размерами от 50 до 100 нм, содержащими субзерна размерами около 20 и менее нанометров с малоугловыми границами разориентации и высокой упругой кривизной кристаллической решетки до сотен град/мкм.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей микроструктуры и прочностных свойств чистого Nb (99,98 %), а также смеси Nb и Al (ПА-4, 98%) в экваторном составе после комбинированной обработки, включающей в себя 2-3 минуты МА в планетарной шаровой мельнице и последующее компактирование методом КПД (1 оборот при давлении 7 ГПа).

Для электронномикроскопических исследований из компактов в форме дисков

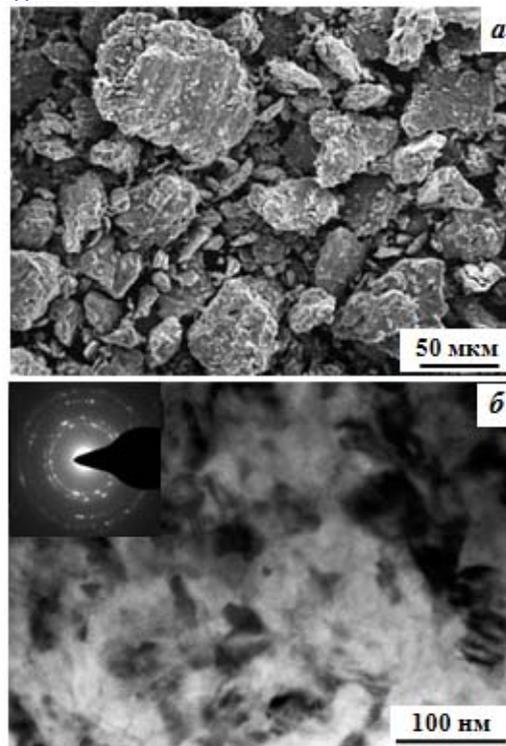


Рис.1 механокомпозит Nb+Al  
после 5 минут МА [2]

диаметром 8 мм и толщиной около 0,15 мм вырезались сечения, перпендикулярные поверхности диска. Степень упрочнения материала при компактировании изучали путем измерения микротвердости по Виккерсу в различных участках диска как на поверхности, так и в поперечных сечениях.

Исследование компактированных образцов методом просвечивающей электронной микроскопии показало, что как в Nb, так и в композите Nb+Al формируется анизотропная зеренная структура с зернами, вытянутыми параллельно плоскости кручения (рис. 2), что связано с анизотропией полей действующих в процессе обработки напряжений. Существенное отличие структурных состояний состоит в значительно большей степени неравномерности зерен в Nb+Al, где структура имеет вид полосовой (рис. 2 б) с шириной полос 10-100 нм. В чистом Nb подобные полосы встречаются только в локальных участках.

Предполагается, что формирование полосовой структуры обусловлено возможным влиянием

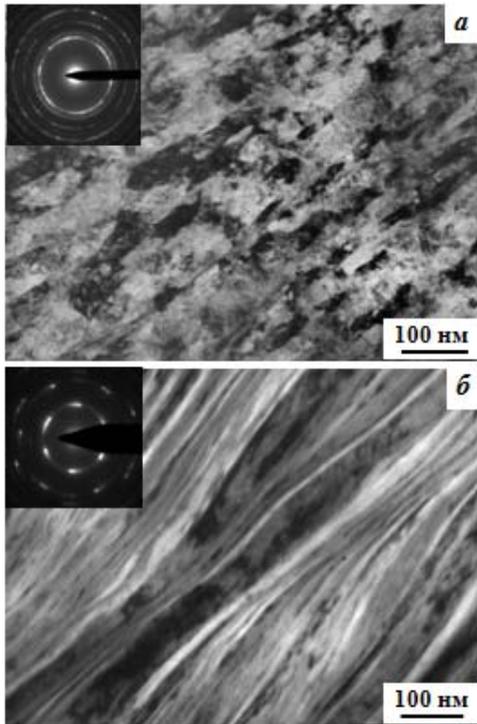


Рис. 2 Светлопольные изображения Nb (а) и Nb+Al (б) после МА и КПД

алюминиевой составляющей композита. Следует отметить, что полосы преимущественно параллельны плоскости кручения, однако в локальных участках образца группы полос могут формировать структуры вихревого характера (рис. 3). Предположительно, подобная нестабильность пластической деформации связана с неоднородностью структуры и механических свойств материала.

Важным результатом является отсутствие в механокомпозите Nb+Al признаков протекания релаксационных процессов – относительно крупных и бездефектных зерен или субзерен алюминия, подобных обнаруженным ранее в механоактивированной смеси [3]. Это может быть обусловлено как низкой (комнатной) температурой КПД, так и более глубоким перемешиванием фракций Nb и Al.

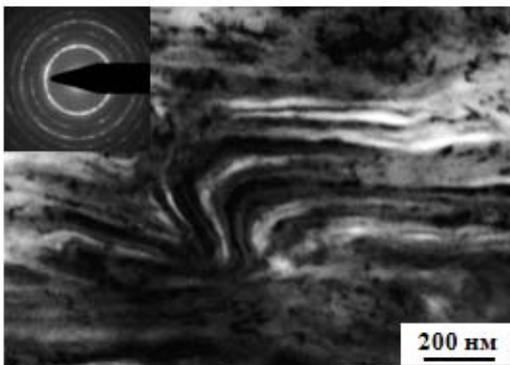


Рис. 3 Светлопольное изображение механокомпозита Nb+Al после МА и КПД

Следует заметить, что приведенные результаты являются лишь первичной аттестацией полученных структурных состояний, и для количественной оценки параметров зеренной и дефектной структуры изучаемых материалов необходимо проведение дополнительных исследований с применением методики темнопольного анализа дискретных и непрерывных разориентировок аналогично [3].

Измерения микротвердости показали, что для компактированных образцов характерен рост значений микротвердости от центра к периферийной области диска (табл. 1), что соответствует увеличению истинной (логарифмической) степени деформации до  $e \sim 3$ .

Следует отметить, что в центре образцов микротвердость оказалась ниже уровня некомпактированных порошков, что может быть связано с наличием в данных участках остаточной пористости. Тем не менее, микротвердость компактов кратно превышает уровень исходных порошков (менее 1,5 ГПа).

Таблица 1. Микротвердость Nb и Nb+Al после МА и последующего компактирования

материал	H <sub>μ</sub> , ГПа		
	после МА	центр	периферия
Nb	4,9	2,5-5	5-8
Nb+Al	2,7	2	5

Таким образом, при компактировании предварительно механоактивированных порошков происходит существенное изменение микроструктуры образцов с формированием анизотропной зеренной структуры, что в случае механокомпозита Nb+Al выражается в виде полосовой структуры в сечении, перпендикулярном плоскости кручения. Эволюция структурных состояний в процессе КПД приводит к дополнительному упрочнению материала.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-85.2011.8) и междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 32. Исследования проведены с использованием оборудования ТМЦКП ТГУ.

#### Список литературы:

1. Suryanarayana С. Mechanical alloying and milling // Progress in Material Science. – 2001, – №46. – Р. 1-184.
2. Денисов К.И., Дитенберг И.А. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 11/3. – С. 46-49.
3. Дитенберг И.А., Тюменцев А.Н., Денисов К.И., Корчагин М.А. // Физическая мезомеханика. – 2011. – №. 6. – С. 53-62.

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАНОПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКА

Диденко С.С., Пустовалов А.В.

Научный руководитель: Журавков С.П., к.х.н., с.н.с.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [serj\\_osaka@mail.ru](mailto:serj_osaka@mail.ru)

Нанопорошки железа и химических соединений, в состав которых входит железо, находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Использование нанопорошков (НП) в качестве добавок позволяет значительно улучшить качество как многих уже известных технических продуктов - топлив, полимеров, фильтров, присадок к смазочным материалам, красящих и магнитных пигментов, так и создать на их основе новые материалы с полезными свойствами [1]. Благодаря высокой биологической, физиологической активности и экологической безопасности НП железо широко используют в сельском хозяйстве и для создания лекарственных препаратов [2,3]. Среди известных способов получения НП наиболее перспективным является метод электрического взрыва проводников (ЭВП). НП металлов, полученных методом ЭВП, обладают целым рядом уникальных свойств: высокой химической активностью, возможностью получения многокомпонентных сплавов из металлов с заметно различающимися теплофизическими свойствами (например, Al-Fe, Zn-Ni, Zn-Cu). Кроме того свойства НП ЭВП металлов можно регулировать с помощью: энергии вводимой в проводник при взрыве, параметров взрыва (с паузой тока и без), используя различные газы в которых осуществляется взрыв и различные способы пассивации свежеполученных НП металлов [1]. Следует отметить, что пассивация свежеполученных НП железа имеет очень важное значение, так как НП Fe обладают высокой пирофорностью, что затрудняет их дальнейшее технологическое использование. С другой стороны, частицы НП Fe сильно агломерируют в процессе их получения.

Существуют различные способы пассивации, наиболее распространенными являются: пассивация медленным напуском воздуха путем диффузирования смеси газов через слои НП; пассивация поверхностно активными веществами (ПАВ); пассивация во время ЭВП [4]. Суть всех способов заключается в том, что на поверхности частицы необходимо образовать защитную пленку для снижения активности порошка. У каждого из способов есть как свои преимущества, так и недостатки. Так при пассивации медленным напуском трудно контролировать процесс окисления порошка и вследствие того, что данная процедура довольно продолжительна (порядка нескольких дней), то часть частиц НП не покрытых оксидной пленкой продолжают агломерировать. При использовании различных ПАВ порошок обычно засыпают в емкость с раствором активного веще-

ства и выдерживают некоторое время, затем следует достаточно продолжительная стадия сушки пассивированного НП от растворителя. При пассивации во время ЭВП в рабочий газ добавляется газ окислитель возможно использовать различные газы такие как  $O_2$ , CO или  $CO_2$ . Так как скорости реагирования НП Fe с  $O_2$ , CO и  $CO_2$  различны, то следует ожидать различий в свойствах НП, полученных в разных газовых атмосферах.

Для экспериментов по получению нанопорошков железа использовалась установка УДП-150 (лаб.№12 ИФВТ) приведенная на рис. 1 со следующими параметрами электрического контура: емкость батареи конденсаторов  $C = 3,6$  мкФ, напряжение зарядки накопителя  $U = 18 - 27$  кВ, индуктивность разрядного контура  $L = 0,8$  мкГн. При получении порошков использовали железный проводник диаметром  $d = 0,4$  мм и длиной  $l = 75-100$  мм. ЭВП осуществляли в среде аргона при давлении 2,5атм.

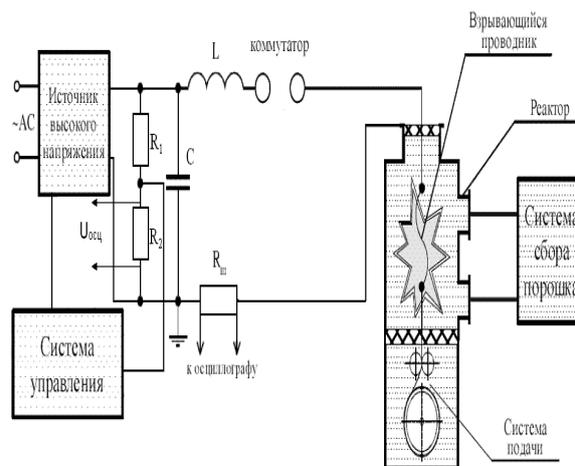


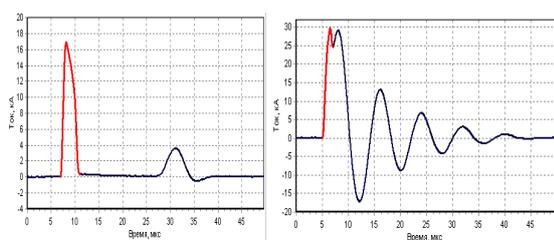
Рис. 1 Схема установки для осуществления ЭВП

Процесс электрического взрыва проводников достаточно многообразен. ЭВП можно осуществлять как в стадии согласованного взрыва, с паузой тока, либо без нее. В нашем случае процесс наработки порошка происходил в 2 режимах с различными значениями  $e/e_c$ , которые характеризуют энергетику взрыва, влияющую на дисперсный состав порошка. Значения  $e/e_c$  соответственно равны 0,8 и 1,6. Газ в рабочую камеру добавляли с помощью ротаметра, расход газа ( $v$ ) газа изменяли в интервале (0 – 10 л/час).

Полученные образцы НП подвергались следующим видам анализа: определению величины площади удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) полученных порошков, осуществлялось с помощью метода

низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ) на приборе «Сорбгометр-М»; фазовый состав определяли методом рентгенофазового анализа (наоцентр НИ ТПУ), содержание металлического железа в образцах определяли волюмометрическим методом при взаимодействии железа с раствором соляной кислоты.

Ниже приведены осциллограммы выбранных режимов работы. Рис.2(а) с паузой тока, отношение  $e/e_c=0,8$  и рис.2(б) без паузы тока с  $e/e_c=1,6$ .



а)  $e/e_c=0,8$

б)  $e/e_c=1,6$

Рис. 2 Типичные осциллограммы тока ЭВП

Как и следовало ожидать добавление небольшого количества химически активного газа во взрывную камеру во время ЭВП приводит к стабилизации получаемых порошков. При контакте получаемого порошка с воздухом порошок не воспломеняется в отличие от не пассивированного порошка Fe.

Зависимость площади удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) от количества добавляемого газа ( $M_{газа}/M_{Fe}$ ) представлена на рис.3.

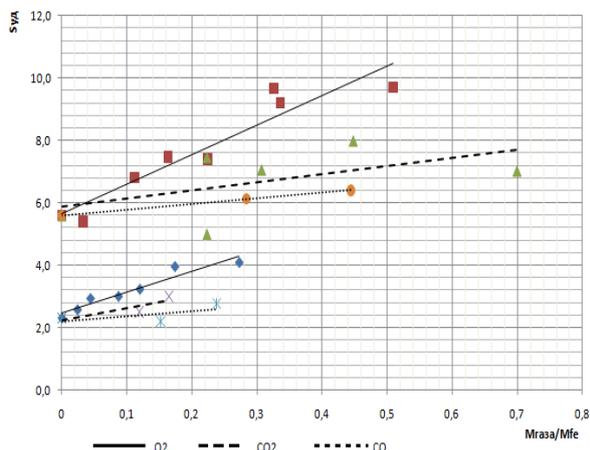


Рис. 3 Зависимость  $S_{уд}$  от  $M_{газа}/M_{Fe}$

С ростом площади удельной поверхности наблюдается линейное снижение содержания свободного Fe в получаемых нанопорошках. Так в

образце полученном при добавлении максимального количества кислорода содержание Fe около 40%, а в образце полученном в среде аргона содержание Fe-90%.

Следует отметить, что динамика изменения как площади, так и содержания свободного Fe в исследуемых образцах зависит не только от количества добавляемого газа, но и от его рода. Так образцы с наибольшей удельной поверхностью получены в среде аргона с добавлением кислорода, для обоих режимов получения нанопорошка. А порошки с наименьшей площадью удельной поверхности получены в среде аргона с добавлением CO. Данный характер зависимости скорее всего связан с химической активностью добавляемого газа, или с его энергией диссоциации (энергия диссоциации  $O_2 = 490 \text{ кДж/Моль}$ ;  $CO_2 = 797 \text{ кДж/Моль}$ ;  $CO = 1070 \text{ кДж/Моль}$ ; [5])

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: 1) увеличение доли газов-окислителей в аргоне приводит к росту величины площади удельной поверхности НП Fe и возрастанию их дисперсности за счет снижения агломерации частиц; 2) Согласно данным волюмометрического и рентгено-фазового анализов рост доли газов-окислителей в аргоне приводит к увеличению количества оксидов в получаемом НП Fe.

#### Список литературы:

1. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва. Известия Вузов «Физика», 1996 г, № 4, Издание Томского госуниверситета. с. 114-136.
2. Паничкин Л.А., Райкова А.П.. Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян с.-х. культур. Известия ТСХА, выпуск 1, 2009 г. с. 59-65.
3. Антипов С.А., Федущак Т.А., Кокорев О.В. и др. Противоопухолевые эффекты *in vitro* и *in vivo* липидных композитов цисплатина и наночастиц ферромагнетика в углеродной оболочке. Бюллетень сибирской медицины, № 1, 2010 с. 9-16.
4. Ю. А. Котов, И. В. Бекетов, А. И. Медведев, О. Р. Тимошенкова. Получение наночастиц алюминия в оксидной оболочке. Журнал «Российские нанотехнологии», 2009 г, №5, с. 126-130.
5. Ремин Г. Курс неорганической химии. Том1. Издательство иностранной литературы, г.Москва, 1963г. 921с.

## СИНТЕЗ СМЕСИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДА И НИТРИДА БОРА И ИЗУЧЕНИЕ ЕЁ ХАРАКТЕРИСТИК

Дюкова К.Д., Баннов А.Г., Батаев И.А.

Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доцент  
Новосибирский государственный технический университет,  
630092, Россия, г. Новосибирск пр. К.Маркса, 20  
E-mail: [dyukova\\_kx701@mail.ru](mailto:dyukova_kx701@mail.ru)

Карбид и нитрид бора являются тугоплавкими соединениями. Они широко используются в промышленности, например для получения изделий из карбонитрида бора.

Карбонитрид бора используется в качестве электроизоляционного материала в высокотемпературных и высоковольтных источниках, огнеупора и стойкого к действию агрессивных сред материала в электролизерах для борирования металлов в расплаве буры, из него изготавливают тигли и ванны, применяющиеся при восстановлении железотитанового концентрата, электроизоляционная соломка для защиты металлических терпар, а так же трубы для перекачки расплавленных металлов, сплавов, шлаков и солей. [1]. Известно, что соединения бора (в виде тонкодисперсных порошков) могут быть использованы в качестве модификаторов алюминиевых деформируемых сплавов. Их применение приводит к значительному увеличению относительного удлинения наряду с увеличением предела прочности и предела текучести.[2].

В данной работе были проведены исследования процесса синтеза смеси карбида и нитрида бора, и характеристик полученного порошкообразного материала.

Для синтеза смеси карбида и нитрида бора использовался элементарный бор. В качестве источника углерода применялся нановолокнистый углерод материал, получаемый каталитическим пиролизом углеводородов. Выбор углеродного материала определялся необходимостью получения мелкодисперсных порошков карбида и нитрида бора.

Нановолокнистый углеродный материал (НВУ) представляет собой переплетенные углеродные нановолокна различной структуры с достаточно малым диаметром (от 20 до 200 нм), большим отношением длины к диаметру. Длина нановолокон может варьироваться в диапазоне от одного до нескольких микрон.

Процесс проводился в печи Таммана при температурах ниже температуры плавления карбида бора. Первый образец нагревался в среде воздуха до температуры 1700°C, а второй до 2300°C. Вследствие экзотермичности реакций реальная температура процесса могла немного превышать устанавливаемую температуру нагрева печи, но не более, чем на 100°C.

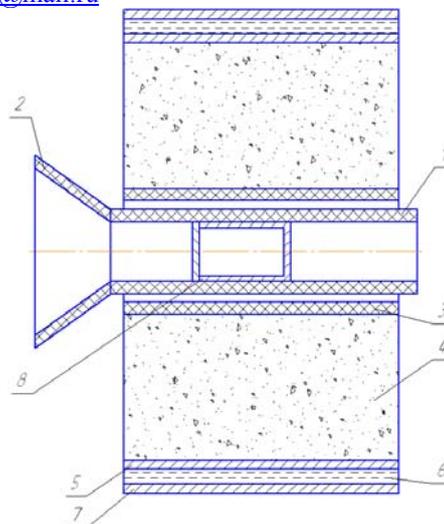


Рис. 1 – Схема печи Таммана.

1 – рабочая графитовая трубка с высоким удельным сопротивлением; 2 – графитовый корпус; 3 – графитовый экран с низким удельным сопротивлением; 4 – сажа (теплоизоляционный материал); 5 – корпус; 6 – вода на охлаждение печи; 7 – корпус-обечайка.

Для приготовления образцов тугоплавких боридов использовалась шихта с содержанием 80 масс.% бора и 20 масс.% углерода (НВУ). Полученный материал подвергался рентгенофазовому анализу на дифрактометре ДРОН-3 с использованием  $\text{CuK}\alpha$  излучения (длина волны  $\lambda=1,54 \text{ \AA}$ ), исследовался методами просвечивающей электронной микроскопии на приборах JEM-100CX и JEM-2010 (JEOL), сканирующей электронной микроскопии на приборе Hitachi 3400 M. Кроме того, определялась его удельная поверхность на приборе Quantachrom NOVA 1000e и плотность на автоматическом газовом пикнометре Ultrapycnometer 1200e.

Установлено, что в результате процесса масса продуктов реакции увеличилась по сравнению с массой шихты. Это свидетельствует о частичном азотировании бора. Для первого образца увеличение массы составило 25%, а для второго – 18%. Расчетным путем определено, что образец №1 содержит, масс. %: карбида бора 62, нитрида бора 36, свободного углерода 2, а образец №2: 71, 28, 1 соответственно. Результаты рентгенофазового анализа представлены на рисунке 2.

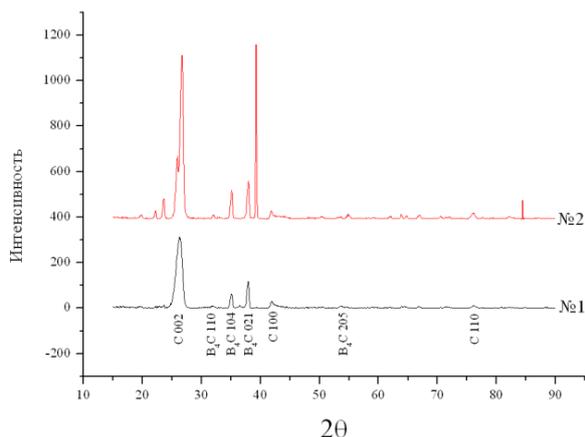


Рис. 2 – Спектры образцов

Образец №2 получен при более высокой температуре, поэтому содержащийся в нем карбид бора имеет большую степень кристалличности (высокие и узкие рефлексы). Кроме того, на спектрах обнаружены рефлексы, соответствующие гексагональному нитриду бора.

Результаты просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения представлены на рисунке 3.

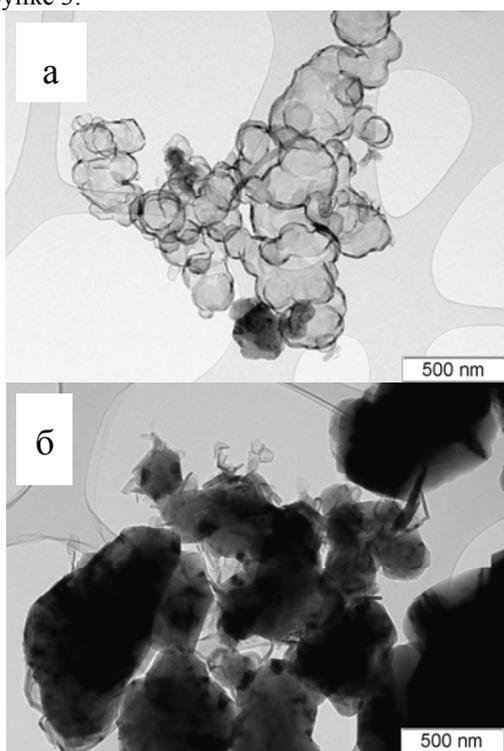


Рис. 3 – Снимки ПЭМВР: а) №1, б) №2

Согласно данным ПЭМВР установлено, что образец №1 представляет собой преимущественно полые частицы (рис. 3 а). Причем среди одиночных полых сфер с размерами 70-300 нм встречаются объединенные частицы. Необходимо отметить, что стенка у образованных частиц имеет слоистую природу.

Образец №2 (рис. 3 б) представляет собой относительно крупные агломераты размером поряд-

ка 500 нм. Среди крупных агломератов встречаются протяженные полые частицы.

На рисунке 4 приведены результаты сканирующей электронной микроскопии. Из полученных данных следует, что в образце №1 (рис. 4 а) представлены частицы неправильной формы с размером доли микрона, и образованные из них агломераты. На снимке образца №2 (рис. 4 б) видно, что некоторые частицы приобрели форму кристаллов с округленными краями, размером от 1 до 5 микрон.

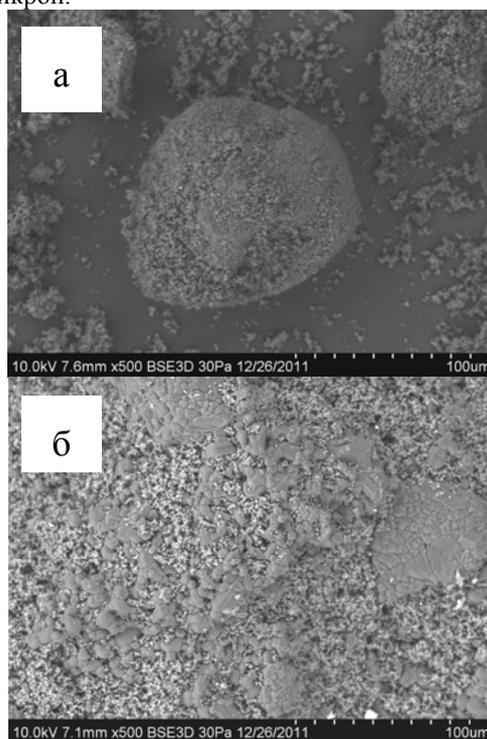


Рис. 4 – Снимки СЭМ: а) №1, б) №2

Исследования показали, что образец №1 имеет удельную поверхность  $8.2 \text{ м}^2/\text{г}$  и средний размер частиц примерно 300 нм, а образец №2-  $2.1 \text{ м}^2/\text{г}$  и 1000 нм. Плотность полученных порошкообразных материалов составляет  $2.27$  и  $2.35 \text{ г}/\text{см}^3$ , соответственно.

Таким образом, полученные образцы боридов представляют собой высокодисперсные порошки. Результаты проведенных исследований позволяют прогнозировать применения данных материалов для изготовления изделий из карбонитрида бора, а также в качестве модификаторов литейных сплавов.

#### Литература:

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений/ Под. ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. 928 с.
2. Francis D. Catching up to Nanotechnology, Mechanical Engineering, 2000, №7 p. 34.

## СИНТЕЗ НИТРИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ IV ГРУППЫ ПОБОЧНОЙ ПОДГРУППЫ

Звягинцева Е.С., Шинкевич Е.В.

Научный руководитель: Ильин А.П., д.ф.-м.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [genja\\_zwjan@mail.ru](mailto:genja_zwjan@mail.ru)

Промышленный синтез тугоплавких нитридов титана, циркония и гафния связан с необходимостью получать мелкодисперсные порошки соответствующих металлов и нагревать их в атмосфере чистого азота под давлением в течение продолжительного времени [1]. Образующиеся нитриды представляют трудноразрушаемые спеки, которые обычно измельчают в шаровых мельницах. Для получения изделий из нитридов после помола их рассеивают по фракциям, после чего возможно изготовление различных изделий из консолидированной нитридной керамики. Таким образом производство нитридной керамики является длительным и затратным, что сдерживает ее использование в технике и технологиях.

Согласно недавно установленному явлению возможно химическое связывание азота воздуха и формирование кристаллических фаз нитридов в условиях высокотемпературного горения[2]. Первоначально считалось, что при горении только нанопорошка (НП) алюминия в воздухе при 2200-2400 С образуется нитрид алюминия. Процесс горения НП алюминия обычно протекает в две стадии: на первой из них (низкотемпературной) выгорает абсорбированный в наночастицах водород, а на второй происходит интенсивное сгорание алюминия. Процесс горения протекает в режиме теплового взрыва, в результате чего формируется нитевидные кристаллы нитрида алюминия.

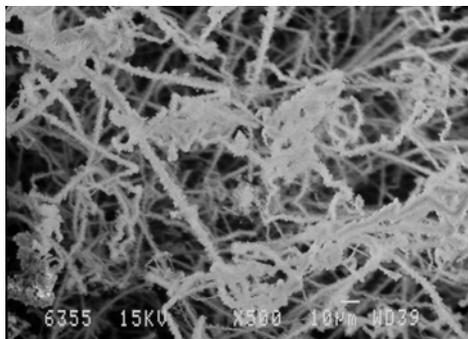


Рис.1. Микрофотографии промежуточных продуктов горения смесей НП Al с Ti

Позже было установлено[3-5], что нитриды образуются при горении других порошкообразных металлов Al, Ti, Zr и сплава циркония. Таким образом, были синтезированы из грубодисперсных порошков нитриды алюминия, титана и циркония. При этом только для алюминия было характерно образование нитевидных продуктов сгорания, а для титана, циркония и сплава циркония нитевидных кристаллов не было обнаружено в продуктах сгорания. Использование в качестве исходных реагентов порошков металлов приводит к удорожанию синтезируемых нитридов, поэтому актуальна проблема поиска способов использования менее дорогостоящего сырья.

Целью настоящей работы являлось установление выхода нитридов титана, циркония и гафния при горении НП алюминия в смеси с их оксидами.

Для решения поставленной в работе цели НП

алюминия, полученный с помощью электрического взрыва проводников в среде аргона[6] и пассивированный малыми добавками воздуха. На рисунке 2 представлена блок-схема установки УДП-4, изготовленной в НИИ Высоких напряжений Томского политехнического университета.

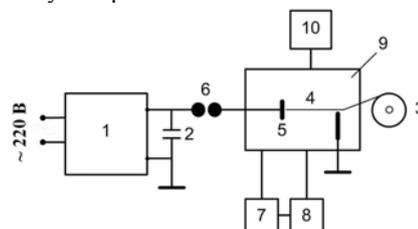


Рис.2. Схема электровзрывной установки УДП-4Г: 1) источник питания; 2) накопитель энергии; 3) механизм подачи проволоки; 4) взрываемый отрезок проволоки; 5) высоковольтный электрод; 6) коммутатор; 7) накопитель НП; 8) вентилятор; 9) камера; 10) система вакуумирования и подачи газа

После пассивирования НП алюминия содержал 89 мас% металлического алюминия, содержание примесей металлов не превышало 0,2 мас%, остальное – оксиды, гидроксиды, адсорбированная вода и примеси газов, а также 1 мас% водорода. Средний поверхностный диаметр частиц НП алюминия составлял 120 нм, распределение частиц по диаметру было близко к нормально-логарифмическому. В условиях электрического взрыва проводников частицы некоторое время присутствуют в жидкофазном состоянии, поэтому за счет лапласового сжатия по форме они представляют собой сферы.

Для приготовления смесей оксидов с НП в работе использовали оксиды чистотой не хуже х.ч. Смеси оксидов с НП алюминия приготавливали путем сухого смешения по методике приготовления пиротехнических смесей. После смешения от каждого образца отделяли 5-10 мг смеси, которую анализировали на термическую устойчивость с помощью термоанализатора Q600 STD Научно-аналитического центра Томского политехнического университета.

Из полученных термограмм рассчитывали 4 параметра термической активности смесей: температура начала окисления ( $T_{н.о.}$ , °С), максимальная скорость окисления ( $V_{max}$ , мас.%/с), степень окисленности ( $\alpha$ , %), удельный тепловой эффект ( $\Delta H$ , Дж/г).

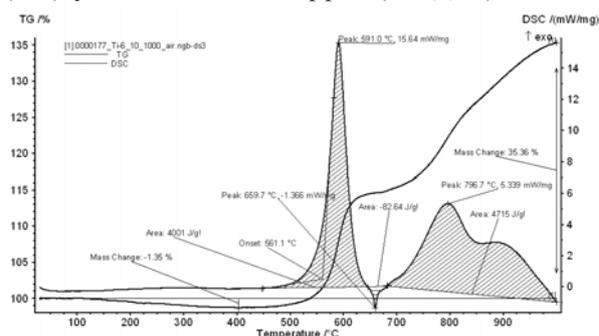


Рис.3. Термограмма смеси НП Al с TiO<sub>2</sub>

Рассчитанные параметры сравнивали с аналогичными для НП алюминия без добавок. На рисунке 3 представлена типичная термограмма.

№ обр.	Состав образца, % мас.		T <sub>н.о.</sub> , °C	α, отн.е	V <sub>max</sub> , %мас./с	ΔH, Дж/г
	Al	TiO <sub>2</sub>				
Ti-1	11,1	88,9	535	14,1	0,063	780,6
Ti-2	20,0	80,0	500	40,5	0,115	1517,0
Ti-3	33,3	66,7	455	111,1	0,167	2406,0
Ti-4	42,9	57,1	463	158,2	0,192	3172,0
Ti-5	50,0	50,0	460	181,3	0,250	3555,0
Ti-6	55,6	44,4	413	203,7	0,290	4001,0
Ti-7	66,7	33,3	460	357,3	0,510	3470,0

Таблица 1. Параметры активности смесей НП Al с TiO<sub>2</sub>

Температура начала окисления смесей повышается с 413 до 535 °C, при этом степень превращения уменьшается с ростом содержания TiO<sub>2</sub> в смеси. Аналогичным образом изменяется максимальная скорость окисления и величина теплового эффекта.

Таким образом, согласно полученным результатам (табл.1) смеси НП алюминия с оксидами элементов IV группы побочной подгруппы на воздухе не пиррофорны и имеют достаточную устойчивость к трению.

Образцы сжигали в виде свободнонасыпанной конусообразной формы, в атмосфере воздуха, на подложке из нержавеющей стали толщиной 2 мм. Сожженные образцы представляли собой легко разрушаемые спеки, которые измельчали в агатовой ступе, просеивали через латунное сито с размером отверстий 63 мкм и подвергали рентгенофазовому анализу (РФА, дифрактометр «Дифрей –401»). Идентификацию кристаллических фаз в продуктах сгорания проводили с использованием картотеки ASTM.

Согласно РФА с увеличением содержания НП алюминия (более 20 мас. %) относительное содержание нитрида титана возрастает и при 50 мас. % алюминия достигает 30 мас. %. При дальнейшем увеличении алюминия в смеси содержание нитрида титана снижается. Таким образом, максимальный выход

нитрида титана достигается при содержании НП алюминия 50 ± 5 мас. %.

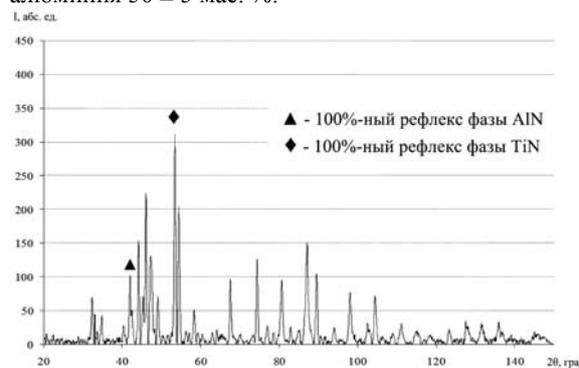


Рис. 4. Типичная рентгенограмма продуктов сгорания смеси НП Al с TiO<sub>2</sub>

Содержание нитрида циркония максимально составляет 28 мас. % при содержании в исходной смеси 35 мас. % алюминия. При дальнейшем увеличении НП алюминия в исходной смеси выход нитрида циркония медленно снижается, а затем с 55 мас% наблюдается резкое его снижение. Таким образом, оптимальное содержание НП алюминия в исходной смеси. Для получения максимального выхода нитрида циркония, составляет 26-55 мас. %. Аналогичные результаты получены для смесей оксида гафния с НП алюминия.

#### Литература:

1. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / Сборник: Физическая химия. Современные проблемы. Ежегодник. / под ред. акад. Я.М. Колотырника – М.: Химия, 1983. – С. 6-46
2. Ильин А.П., Проскуровская Л.Т. Окисление алюминия в ультрадисперсном состоянии на воздухе // Порошковая металлургия. 1990. №9. С. 32-34.
3. Ильин А.П., Ан В.В., Верещагин В.И., Яблунский Г.В. Получение нитридсодержащей шихты при окислении порошкообразного алюминия на воздухе // Стекло и керамика. 1998. №3. С. 24-25.
4. Громов А.А., Дитц А.А., Верещагин В.И. Синтез нитрида и оксинитрида алюминия при горении порошкообразных смесей на основе алюминия // Огнеупоры и техническая керамика. 2004. № 12. С. 19-21.
5. Амелькович Ю.А., Астанкова А.П., Толбанова Л.О., Ильин А.П. Синтез нитридов титана и циркония сжиганием в воздухе смесей их оксидов с нанопорошком алюминия // Новые огнеупоры – М.: ООО «Интермен Инжиниринг», 2007, № 11. – С.64-67.
6. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение/ Под ред. А.П. Ильина. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2005. 148с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ

Коротких А.Г., Ионова И.А., Карпович М.К.

Научный руководитель: Коротких А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Е-mail: [korotkikh@tpu.ru](mailto:korotkikh@tpu.ru)

В работе исследовались ультрадисперсные порошки (УДП) алюминия, полученные методами электроплазменной переконденсации (ЭПП), электрического взрыва проволочек (ЭВП) и пневмоциркуляционным способом. Определены значения параметров удельной и насыпной плотности, гигроскопичности, адсорбции влаги, содержания активного металла исследуемых порошков алюминия (см. табл. 1).

Насыпная плотность порошков алюминия является важной характеристикой, отражающая состояние и наличие адсорбированных газов на поверхности частиц. Насыпную плотность порошков алюминия определяли по стандартной методике [1] с помощью цилиндрического пикнометра по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V},$$

где  $m_2$  – масса пикнометра с веществом, г;  $m_1$  – масса пикнометра, г;  $V$  – объем пикнометра, равный  $7 \text{ см}^3$ .

Из представленных результатов следует, что насыпная плотность порошков, полученных пневматическим способом дисперсностью  $0.30 \div 0.50 \text{ мкм}$ , в 3.6 раза выше по сравнению с УДП алюминия Alex дисперсностью  $0.01 \div 0.35 \text{ мкм}$ , полученного методом ЭВП. Различие насыпной плотности порошков алюминия возможно связано со структурой и толщиной оксидной оболочки частиц. По данным электронного просвечивающего микроскопа и рентгенофазового анализа частица УДП алюминия Alex диаметром  $0.1 \text{ мкм}$  имеет рыхлую структуру оксидной оболочки, в составе которой находятся газы в количестве до 5 масс. % [2].

Удельную плотность порошков алюминия определяли по формуле:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot m}{m_{\text{ж1}} - m_{\text{ж2}}},$$

где  $m_{\text{ж1}}$  – масса дистиллированной воды, г;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность дистиллированной воды,  $\text{г/см}^3$ ;  $m$  – масса исследуемого порошка алюминия, г;  $m_{\text{ж2}}$  – масса дистиллированной воды, налитой в пикнометр после помещения навески порошка алюминия, г.

Удельная плотность большинства исследуемых порошков алюминия близка к табличным данным –  $2.7 \text{ г/см}^3$ . Исключение составляли порошки, полученные пневматическим методом, плотность которых равна  $2.99 \text{ г/см}^3$ .

Следует отметить, что в зависимости от способов получения и хранения ультрадисперсных систем в качестве примесей могут присутствовать оксиды, карбиды, гидроксиды, моногидраты оксидов и т. п.,

плотности которых отличаются от плотности алюминия.

Гигроскопичность исследуемых порошков алюминия определяли по потере массы навески порошка алюминия [3] в сушильном шкафу в интервале температур  $343 \div 348 \text{ К}$  по формуле:

$$A_{\text{гиг}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \%,$$

где  $m_1, m_2$  – масса исходной и после нагревания навески порошка алюминия, г.

Навеску с порошком алюминия массой  $1 \text{ г}$  насыпали в фарфоровую лодочку слоем не более  $2 \div 3 \text{ мм}$  и помещали в сушильный шкаф на  $1 \text{ час}$ . Затем вынимали лодочку с навеской порошка, остужали до комнатной температуры в эксикаторе без осушителя, взвешивали, определяли потерю массы. Процедуру повторяли до тех пор, пока два последовательных измерения фиксировали отсутствие потери массы навески.

Повышенной гигроскопичностью характеризуется УДП алюминия Alex, полученный методом ЭВП в аргоне. Гигроскопичность УДП алюминия, полученного пневматическим методом сопоставима с микро-размерным порошком АСД-4.

Адсорбцию паров воды исследуемых порошков алюминия определяли в специальной камере при постоянной относительной влажности  $63 \%$ , которая обеспечивалась насыщенным раствором нитрата аммония. Адсорбцию определяли по приросту массы навески порошка алюминия в течение суток. Процедуру измерений повторяли до тех пор, пока два последовательных взвешивания характеризовались одним и тем же приростом массы навески. Как правило, эксперимент продолжался  $12 \div 15$  суток.

Количество адсорбированной влаги определяли по формуле:

$$B_{\text{ад}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%,$$

где  $m_1$  – масса исходной навески, высушенной до постоянной массы, г;  $m_2$  – масса навески после адсорбции влаги, г.

Адсорбированная влага большинства исследованных образцов сопоставима с гигроскопической влагой, что подтверждает высказанное ранее предположение о поверхностном характере адсорбции. Наибольшее значение адсорбированной влаги  $42.1 \%$  характерно для УДП алюминия марки Alex. Это можно объяснить взаимодействием алюминия с парами воды, т. е. хемосорбцией.

Физико-химические свойства порошков алюминия

Образец порошка алюминия (дисперсность)	$\rho_{\text{н}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$A_{\text{гиг}}$ , %	$B_{\text{ад}}$ , %	$C_{\text{Al}}$ , масс. %	Примеси, масс. %
«999» (до 100 мкм)	1.77	2.68	5.4	7.7	98.0	2.0
АСД-4 (0.49 ÷ 71.23 мкм)	1.06	2.60	3.2	4.2	95.6	4.4
УДП, полученный методом ЭПП в керосине (0.01 ÷ 1.00 мкм)	0.28	2.60	8.3	9.1	85.8	14.2
УДП, полученный методом ЭВП в аргоне, Alex (0.01 ÷ 0.35 мкм)	0.15	2.68	17.4	42.1	86.0	14.0
УДП, полученный пневматическим методом (0.30 ÷ 0.50 мкм)	0.54	2.99	3.3	5.1	94.7	5.3

Гигроскопичность исследуемых порошков алюминия определяли по потере массы навески порошка алюминия [3] в сушильном шкафу в интервале температур 343 ÷ 348 К по формуле:

$$A_{\text{гиг}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \%,$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  – масса исходной и после нагревания навески порошка алюминия, г.

Навеску с порошком алюминия массой 1 г насыпали в фарфоровую лодочку слоем не более 2 ÷ 3 мм и помещали в сушильный шкаф на 1 час. Затем вынимали лодочку с навеской порошка, остужали до комнатной температуры в эксикаторе без осушителя, взвешивали, определяли потерю массы. Процедуру повторяли до тех пор, пока два последовательных измерения фиксировали отсутствие потери массы навески.

Повышенной гигроскопичностью характеризуется УДП алюминия Alex, полученный методом ЭВП в аргоне. Гигроскопичность УДП алюминия, полученного пневматическим методом сопоставима с микро-размерным порошком АСД-4.

Адсорбцию паров воды исследуемых порошков алюминия определяли в специальной камере при постоянной относительной влажности 63 %, которая обеспечивалась насыщенным раствором нитрата аммония. Адсорбцию определяли по приросту массы навески порошка алюминия в течение суток. Процедуру измерений повторяли до тех пор, пока два последовательных взвешивания характеризовались одним и тем же приростом массы навески. Как правило, эксперимент продолжался 12 ÷ 15 суток.

Количество адсорбированной влаги определяли по формуле:

$$B_{\text{ад}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%,$$

где  $m_1$  – масса исходной навески, высушенной до постоянной массы, г;  $m_2$  – масса навески после адсорбции влаги, г.

Адсорбированная влага большинства исследованных образцов сопоставима с гигроскопической влагой, что подтверждает высказанное ранее предположение о поверхностном характере адсорбции. Наибольшее значение адсорбированной влаги 42.1 % характерно для УДП алюминия марки Alex. Это можно объяснить взаимодействием алюминия с парами воды, т. е. хемосорбцией.

Содержание активного алюминия в порошке определяли волюмометрическим методом [4] по выделенному объему водорода при действии на пробу

5 % раствором гидроксида калия. Из представленных значений содержания активного алюминия в исследуемых порошках наиболее химически чистым являются марки «999», АСД-4 и УДП алюминия, полученный пневматическим способом. Остальные рассмотренные порошки содержат примеси веществ с плотностями меньшими, чем оксид алюминия.

### Выводы

1. Определены насыпная и удельная плотности исследуемых порошков алюминия разной дисперсности. Для УДП алюминия Alex насыпная плотность равна 0.15 г/см<sup>3</sup>, для УДП алюминия, полученного методом электродуговой плазменной переконденсации – 0.28 г/см<sup>3</sup>, для УДП алюминия, полученного пневматическим методом – 0.54 г/см<sup>3</sup>.

2. Определены гигроскопичность и адсорбция влаги УДП алюминия, полученных разными способами. Максимальные значения гигроскопичности и адсорбции влаги получены для УДП алюминия Alex (17.4 % и 42.1 %), что соответствует предположению о повышенной активности поверхности частиц по сравнению с другими ультрадисперсными и микронными порошками алюминия.

3. Волюмометрическим методом определены составы исследуемых образцов порошка алюминия. С уменьшением диаметра частиц порошков от 100 до 0.1 мкм содержание активного алюминия уменьшается от 98 до 86 масс. %. Исключение составляет УДП алюминия, полученный пневматическим методом.

Работа выполнена при поддержке Государственного контракта № 11.519.11.3004 по теме «Применение нанопорошков металлов в энергетических и керамических технологиях» выполняемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

### Литература:

1. Вейганд К. Методы эксперимента в органической химии. – М.: Иностранная литература, 1950. – 200 с.
2. Физика и химия горения нанопорошков металлов в азотсодержащих газовых средах // Громов А.А., Ильин А.П., Архипов В.А. и др. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 332 с.
3. Физиковский В.Б., Бардин В.В., Бойчино Е.С. и др. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство. – Л.: Химия, 1971. – 424 с.
4. ГОСТ 10096-62. Волюмометрический химический анализ. – М.: Изд-во стандартов, 1962. – 6 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ И ГОРЕНИЯ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ

Коротких А.Г., Ионова И.А., Карпович М.К.

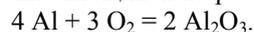
Научный руководитель: Коротких А.Г., к.ф.-м.н., доцент

E-mail: [korotkikh@tpu.ru](mailto:korotkikh@tpu.ru)

В работе представлены результаты исследования кинетики окисления и горения в воздухе порошков алюминия разной дисперсности. Определены значения параметров, температур начала окисления  $T_{ок}$  и воспламенения порошков алюминия  $T_{вос}$ . Результатом измерения параметров являлось среднее арифметическое значение из 3 ÷ 5 параллельных опытов. Погрешность измерения параметров при величине доверительной вероятности 0.95 не превышала 10 %.

Температуру начала интенсивного окисления порошков алюминия определяли методом дифференциального термического анализа (ДТА) [1]. Метод ДТА основан на сравнении термических свойств образца исследуемого вещества и термически инертного вещества, принятого в качестве эталона. Данный метод позволяет регистрировать разность температур исследуемого вещества и эталона в зависимости от времени или температуры. Исследуемый образец и эталон находятся в идентичных температурных условиях в среде, нагреваемой или охлаждаемой с постоянной скоростью. Метод ДТА позволяет определить температуры начала интенсивного окисления алюминия и оценить степень окисляемости последнего в широком интервале температур.

Оценку степени окисления алюминия проводили в предположении, что вся навеска – химически чистый металл, окисляющийся по реакции



Согласно химической реакции масса исходной навески порошка алюминия в ходе опыта возрастает в 1.89 раза.

Степень окисления порошка алюминия в диапазоне температуры 30 ÷ 1000 °С определяли по изменению массы навески образца по формуле:

$$\alpha_{ок} = \frac{\Delta m}{m_{O_2}} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta m$  – прирост массы навески в ходе опыта, мг;  $m_{O_2}$  – масса кислорода, необходимая для полного окисления навески, мг.

Термический анализ порошков алюминия проводили на дериватографе Q-1500 в интервале температур 30 ÷ 1000 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин. Анализ дериватограмм показал, что крупноразмерные партии порошка алюминия, такие как «999» и АСД-4 имеют одну стадию интенсивного окисления, а ультрадисперсные порошки – две. Первая стадия протекает до температуры плавления алюминия – 660 °С, вторая – при более высоких температурах – 700 °С и выше. С уменьшением размера частиц алюминия степень окисления возрастает во всем исследованном интервале температур (см. табл. 1). Исключением является

высокая степень окисляемости УДП алюминия, полученного пневматическим методом.

Таблица 1

Степень окисления и температура начала интенсивного окисления порошков алюминия

Образец порошка алюминия (дисперсность)	$\alpha_{ок}$ , %	$T_{ок}$ , °С
«999» (до 100 мкм)	2.6	830
АСД-4 (0.49 ÷ 71.23 мкм)	26.4	790
УДП, полученный методом ЭПП в керосине (0.01 ÷ 1.00 мкм)	56.2	500/700*
УДП, полученный методом ЭВП в аргоне, Alex (0.01 ÷ 0.35 мкм)	69.2	500/710*
УДП, полученный пневматическим методом (0.30 ÷ 0.50 мкм)	90.6	570/810*

Примечание: \* – процесс окисления проходит в две стадии:  $T_{ок1}/T_{ок2}$  – температуры окисления первой и второй стадии; ЭПП – метод электроплазменной переконденсации порошков; ЭВП – метод электрического взрыва проволоки; УДП – ультрадисперсный порошок.

Температуру поверхности горения порошков алюминия измеряли с помощью тепловизионной съемки тепловизором Jade J 530 SB в инфракрасной области спектра 2.5 ÷ 2.7 мкм в воздухе при нормальных условиях. Использовались образцы непрессованного УДП Alex, микроразмерного порошка алюминия АСД-4, ПАП-2 массой 3 г. Порошки алюминия с заданной насыпной плотностью высыпались на алюминиевую подложку в форме конуса. Зажигание порошков алюминия осуществлялось вольфрамовой проволокой с вершины конуса образцов. После прогрева вольфрамовой проволокой вершины конуса порошка алюминия происходило воспламенение и горение образца, сопровождающееся самораспространяющейся устойчивой волной горения. Наблюдалось яркое свечение после прохождения волны горения и остывания образца. Типичные термограммы процесса горения порошков алюминия представлены на рис. 1.

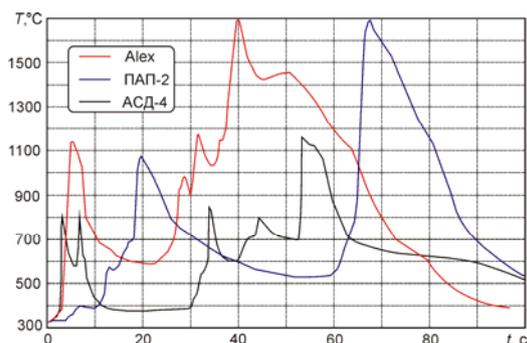


Рис. 1. Термограмма процесса горения порошков алюминия в воздухе

Горение образцов УДП алюминия Alex и микронного порошка алюминия ПАП-2 протекало в две стадии. Первая стадия горения, согласно результатам тепловизионных измерений, представляла собой процесс распространения фронта горения от вершины конуса к основанию с низкой интенсивностью свечения (поверхностное горение). После прохождения первой стадии горения и достижения температуры плавления алюминия ( $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдалось резкое увеличение температуры до  $\sim 1690\text{ }^{\circ}\text{C}$ , сопровождающееся ярким свечением, которое охватывало весь конический образец. На второй стадии достигалась максимальная температура, после чего начиналось медленное охлаждение образцов (рис. 2).

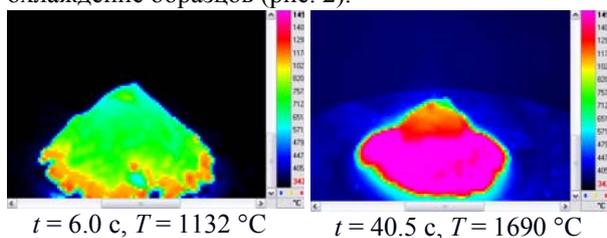


Рис. 2. Кадры тепловизионной съемки процесса горения УДП Alex

Температура воспламенения УДП алюминия Alex составила  $490 \div 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ , микронного порошка ПАП-2 –  $760 \div 820\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Микронный порошок алюминия АСД-4 в воздухе при нормальных условиях не воспламенялся и не поддерживал самораспространяющегося механизма горения. На первой стадии горения максимальная температура в образце УДП алюминия достигала  $1160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в ПАП-2 –  $1067\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Микронный порошок алюминия АСД-4 прогревался до температуры  $1146\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но не воспламенялся. На второй стадии горения максимальная температура порошков алюминия Alex и ПАП-2 была примерно одинаковой и соответствовала  $\sim 1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Скорость протекания реакции УДП алюминия Alex в 2–4 раза выше, чем для микронного порошка ПАП-2.

Высокая активность УДП Alex обусловлена дисперсионным механизмом окисления наночастиц алюминия. Наночастица алюминия, имеющая аморфную оксидную оболочку толщиной  $\sim 2\text{ нм}$ , при быстром подводе тепла нагревается до температуры плавления без существенного изменения

толщины оксидной оболочки. Отметим, что температура плавления наноразмерной частицы уменьшается с уменьшением размера частиц. За счет динамического давления, вызванного изменением коэффициента объемного расширения, происходит разрыв оксидной оболочки. Активный алюминий, вытекая из образующихся трещин оболочки, реагирует с газовой окислительной средой с высоким выделением тепла. Происходит дальнейшее плавление и испарение активного алюминия при этом диаметр оксидной оболочки увеличивается. За счет избыточного давления, создаваемого внутри оксидной оболочки парами алюминия, происходит дробление частицы на частицы размером  $\sim 3 \div 20\text{ нм}$  [2] и выброс частиц в газовую окислительную среду. Таким образом, образуются чешуйчатые частицы оксида алюминия и наночастицы активного алюминия (кластеры), которые при контакте с газовой окислительной средой мгновенно окисляются с высоким выделением тепла.

### Выводы

1. С помощью метода ДТА определены температуры начала интенсивного окисления и степень окисления порошков алюминия в диапазоне температуры  $30 \div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для УДП алюминия окисление на воздухе происходит в две стадии. Первая стадия определяется температурой начала интенсивного окисления равной  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вторая стадия –  $710\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
2. Температура воспламенения, определенная тепловизором Jade J 530 SB, УДП алюминия Alex в воздухе при нормальных условиях составляет  $\sim 490 \div 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ , микронного порошка ПАП-2 –  $760 \div 820\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Микронный порошок алюминия АСД-4 в указанных условиях не воспламеняется и не поддерживает самораспространяющейся механизм горения.

Работа выполнена при поддержке Государственного контракта № 11.519.11.3004 по теме «Применение нанопорошков металлов в энергетических и керамических технологиях» выполняемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

### Литература:

1. Уэндландт У. Термические методы анализа: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 526 с.
2. Yuma Ohkura, Pratap M. Rao, Xiaolin Zheng Flash ignition of Al nanoparticles: Mechanism and applications // Combustion and Flame. 2011. Vol. 158. P. 2544–2548.

## ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА НЕСУЩЕЙ Ni<sub>3</sub>Al ОСНОВЕ

Ковальчук А. Н.<sup>1</sup>, Ионов И. В.<sup>2</sup>, Мазной А. С.<sup>3</sup>

Научный руководитель: Соловьев А. А., к. т. н., доцент

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3

<sup>3</sup>Отдел структурной макрокинетики ТНЦ, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3

E-mail: [artemija@sibmai.com](mailto:artemija@sibmai.com)

Среди известных на сегодняшний день видов топливных элементов (ТЭ), особое внимание во всем мире уделяется разработке твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) – одного из наиболее перспективных видов ТЭ, основными конструктивными составляющими которого в общем случае являются пористые электроды (анод и катод) и расположенный между ними твердый газоплотный электролит (чаще всего стабилизированная иттрием окись циркония ZrO<sub>2</sub>:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (YSZ)).

Из-за своих высокотемпературных свойств интерметаллические соединения Ni<sub>3</sub>Al представляют большой интерес для науки. Высокая температура плавления, относительно низкая плотность, высокая температура окисления, сопротивление коррозии, необычная зависимость от температуры предела текучести – всё то, что привело к разработке Ni<sub>3</sub>Al сплавов для специальных применений. Благодаря своим уникальным свойствам Ni<sub>3</sub>Al – интерметаллиды потенциально могут быть использованы в качестве легких и высокотемпературных пористых материалов в ТОТЭ.

Благодаря надежности, возможности быстрого запуска, стойкости к термоциклированию и механической стабильности при сильной вибрации ТОТЭ на металлической основе представляют повышенный интерес. Кроме того, общая стоимость топливных элементов может быть существенно снижена при переходе от несущих металлокерамических анодов к менее дорогим металлическими компонентам.

Таким образом, задачей данной работы стало исследование поведения пористых Ni<sub>3</sub>Al сплавов в высокотемпературных средах для выявления зависимости условий их синтеза и микроструктуры на эффективность работы ТОТЭ.

Для производства таких металлических компонентов ТОТЭ как пористые пластины, интерконнекторы и токосъемы, как правило, используют многочисленные типы ферритных нержавеющей сталей и сплавов (AISI 446, 420, Inconel, Crofer и т.д.). Нержавеющие стали имеют содержание хрома. При рабочей температуре топливного элемента (~800°C) имеет место диффузия хрома к поверхности и его осаждение в виде Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхности электродов (анода или катода) в результате длительной эксплуатации этих материалов, что существенно снижает каталитическую активность электродов и в конечном итоге понижает продуктивность топливных элементов с течением времени.

При использовании пористых Ni<sub>3</sub>Al сплавов, особое внимание уделяется вопросу их окисли-

тельных свойств при высоких температурах. При формировании на поверхности Ni<sub>3</sub>Al сплавов стабильного слоя оксида алюминия, учитывая фактор высоких температурах, стойкость к окислению объемных Ni<sub>3</sub>Al сплавов является удовлетворительной. Альтернативным подходом к изготовлению топливных ячеек может быть применение новых видов сплавов, не содержащих железа и хрома.

В режиме теплового взрыва методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) изготавливались пористые несущие пластины для ТОТЭ (рис. 1). Методом двустороннего прессования с усилием от 70 до 110 МПа формировались из смеси порошков никеля UT-4 и алюминия ASD-6 заготовки для ТЭ. В атмосфере аргона при давлении 10<sup>5</sup> Па проводился синтез в реакторе постоянного давления. Пористые заготовки нагревались внутри электрической печи со скоростью нагрева 30 град/мин. Тепловой взрыв регистрировался при температурах 500<sup>0</sup>-600<sup>0</sup>С, причем, максимальная температура на поверхности пластин достигала 1100<sup>0</sup> С

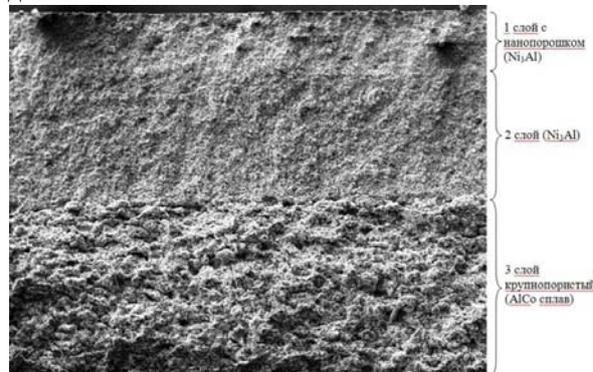


Рис. 1 – Состав Ni<sub>3</sub>Al (скол)

Топливные ячейки (ТЯ) формировались следующим образом. На Ni<sub>3</sub>Al подложку наносился слой анодной пасты NiO (50%)/ZrO<sub>2</sub>:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50%) производства ESL Electroscience, США, толщина которого составляла примерно 20 мкм. В течение двух часов при температуре 900°C в атмосфере водорода происходило спекание и восстановление анодного слоя. Методом магнетронного распыления Zr<sub>0,86</sub>Y<sub>0,14</sub> катода на анодный слой осаждалась пленка YSZ электролита, толщина которого составляла 5 – 20 мкм в зависимости от длительности процесса осаждения (скорость нанесения пленок составляла 4 мкм/ч). Нанесение YSZ электролита проводилось в Ar/O<sub>2</sub> атмосфере при давлении 0.2 - 0.3 Па на нагретые до температуры 600°C подложки. Использовался импульсный режим ра-

боты магнетрона с частотой 50 кГц и мощностью разряда 1.5 кВт. Заключительным этапом создания ТЯ было формирование LSM катода путем нанесения  $\text{La}_{0.80}\text{Sr}_{0.20}\text{MnO}_{3-x}$  пасты производства Nex-Tech Materials, Ltd., США. Активация катода происходила уже в процессе исследования топливных ячеек при рабочих температурах 600 - 800°C.

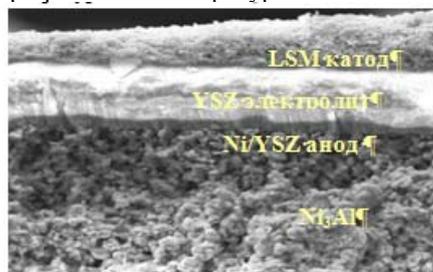


Рис. 3 - Изображение поперечного сечения ТЯ со структурой:  $\text{Ni}_3\text{Al}$  подложка -  $\text{Ni/YSZ}$  анод -  $\text{YSZ}$  электролит -  $\text{LSM}$  катод.

Электрохимические исследования топливных ячеек на  $\text{Ni}_3\text{Al}$  основе проводились на устройстве ProboStat<sup>TM</sup> (NorECs, Норвегия).

Исследование электрических характеристик осуществляли в диапазоне рабочих температур 550<sup>0</sup> – 800<sup>0</sup> С, с помощью электронной нагрузки PL – 150. Скорость изменения температуры не превышала 300<sup>0</sup> С/ч. В качестве топлива для ТОТЭ использовали водород, в качестве окислителя – кислород, воздух. В анодное пространство водород подавался на протяжении всего эксперимента с расходом 50 мл/мин, скорость подачи окислителя в катодное пространство составляет 120 мл/мин.

В ходе испытаний измеряли: вольтамперную характеристику (ВАХ). По результатам измерения ВАХ рассчитывали снимаемую электрическую плотность мощности  $P_{max}$ .

ВАХ (рис. 4) имеет практически линейный вид, что говорит о том, что падение напряжения обусловлено в основном омическими потерями. Напряжение холостого хода при оптимальных расходах газа, которые равны 50 мл/мин для водорода и 150 мл/мин для воздуха, составляет 1.08 В. Это свидетельствует о том, что нанесенный YSZ электролит имеет хорошую газоплотность. Напряжение холостого хода ячейки несколько ниже теоретического значения 1,23 В, благодаря проникновению молекул водорода на катод, медленной кинетике реакции восстановления кислорода, что в сумме дает перенапряжение около 0,2 В (в интервале напряжений 1,2 В – 1 В).

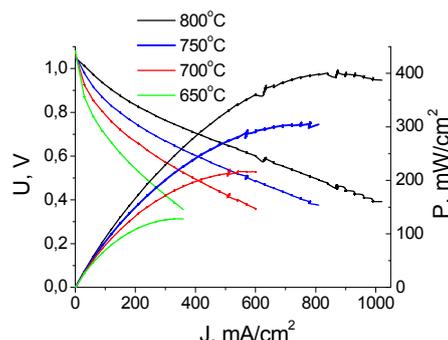


Рис. 4 – вольтамперные и мощностные характеристики ТОТЭ на несущей  $\text{Ni}_3\text{Al}$  основе.

Напряжение холостого хода ячейки несколько ниже теоретического значения 1,23 В, благодаря проникновению молекул водорода на катод, медленной кинетике реакции восстановления кислорода, что в сумме дает перенапряжение около 0,2 В (в интервале напряжений 1,2 В – 1 В).

Генерируемая топливной ячейкой мощность была невелика и равнялась 400 мВт при  $U = 1.08$  В, что соответствует значению удельной мощности 0.51 Вт/см<sup>2</sup>. По-видимому, это связано с большими омическими потерями в ТЯ, причем не в материале электролита, поскольку его толщина составляет всего 4 мкм, а скорее всего в местах съема тока с анода и катода. Наблюдался стремительный рост снимаемой мощности при увеличении рабочей температуры.

В заключении можно отметить, что использование в качестве несущей  $\text{Ni}_3\text{Al}$  основы для ТОТЭ является перспективным направлением для практической реализации стеков на высокотемпературных ТЭ. В ближайшем будущем данного исследования является создание топливной ячейки на несущей интерметаллической основе с использованием тонкопленочных электродов.

#### Список литературы:

1. Matus Y.B., De Jonghe L.C., Jacobson C.P., and Visco S.J. Metal-supported solid oxide fuel cell membranes for rapid thermal cycling // *Solid State Ionics*, 2005, V. 176, p. 443-449.
2. Sadykov V.A., Usoltsev V.V., Fedorova Yu.E., Sobyenin V.A., Kalinin P.V., Arzhannikov A.V., Vlasov A.Yu., Korobeinikov M.V., Bryazgin A.A., Salanov A.N., Predtechenskii M.R., Bobrenok O.F., Ulikhin A.S., Uvarov N.F., Smorygo O.L., Il'yushchenko A.F., Ul'yanitskii V.Yu., Zlobin S.B. Design of Medium-Temperature Solid Oxide Fuel Cells on Porous Supports of Deformation Strengthened Ni–Al Alloy // *Russian Journal of Electrochemistry*, 2011, V.47(4), p. 488–493.
3. Matus Y.B., De Jonghe L.C., Jacobson C.P., and Visco S.J. Metal-supported solid oxide fuel cell membranes for rapid thermal cycling // *Solid State Ionics*, 2005, V. 176, p. 443-449.

## 2-(ДИФЕНИЛФОСФОРИЛ)АЦЕТОГИДРАЗИД. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

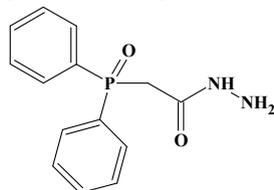
Крутов И.А., Сайфутдинова М.Н., Шаталова Н.И.

Научные руководители: Гаврилова Е.Л., д.х.н., профессор; Тарасова Р.И., к.х.н., в.н.с.  
ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 420015, Россия, Казань, ул. К. Маркса, 68

E-mail: [born\\_to\\_die@list.ru](mailto:born_to_die@list.ru)

Нормальная работа центральной нервной системы (ЦНС) - совершенно необходимое условие полноценной жизни человека. Сегодня благодаря бурному развитию медицины и фармакологии люди научились на многие годы продлевать работу большинства органов и их систем, бороться со смертельно опасными и до недавнего времени неизлечимыми заболеваниями [1]. Современная медицина располагает большим количеством разнообразных препаратов для предупреждения и лечения нервно-психических заболеваний, но далеко не все из них отвечают существующим требованиям качества. Растет потребность человека в ноотропных препаратах, т.е. препаратах, активизирующих умственную деятельность, которая определяется необходимостью увеличения творческой активности человека в пожилом и старческом возрасте, восстановлением задержки умственного развития детей, коррекцией нарушений памяти, обучения интегративных функций мозга.

В 60-х гг. профессором кафедры органической химии Казанского химико-технологического института им. С.М.Кирова (КХТИ) А.И. Разумовым с группой сотрудников были предприняты систематические исследования производных фосфорилированных карбоновых кислот, положившие начало изучению нейротропных средств. Первым представителем этой серии был фосеназид (2-(дифенилфосфорил)ацетогидразид):



В настоящее время исследования гидразидов фосфорилуксусных кислот успешно продолжают на кафедре органической химии Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ).

Комплекс фармакологических эффектов гидразида дифенилфосфорилуксусной кислоты [2] и его клинические испытания [3] характеризуют фосеназид как «дневной транквилизатор с выраженной вегетотропной активностью и противозащитным действием». Препарат действует успокаивающе на ЦНС, устраняя тревогу, внутреннее напряжение. Углубленное изучение гидразида дифенилфосфорилуксусной кислоты показало его специфическую антиалкогольную активность. Наряду с психотропным действием фосеназид обладает способностью улучшать процессы обучения и память, а также проявляет положительные эффекты в клинике сердечнососудистых заболеваний.

Нами с целью выявления дополнительного спектра биологической активности фосеназида был проведен расчет прогнозируемой биологической активности с помощью программы PASS [4] (таблица 1).

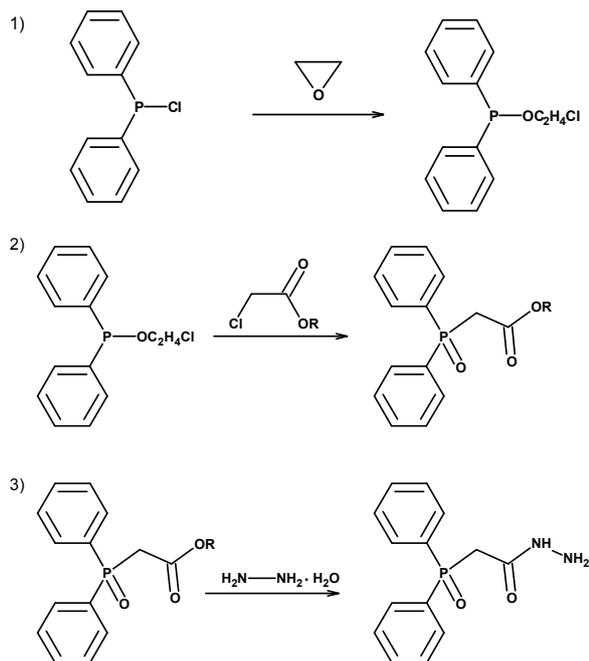
Таблица 1. Расчет прогнозируемой биологической активности фосеназида

Pa for Activity	Pi for Activity	Possible activities
0.987	0.001	Beta 3 adrenoreceptor agonist
0.969	0.002	Antiobesity
0.965	0.004	Neuroprotector
0.931	0.003	Threonine aldolase inhibitor
0.849	0.005	Leukotriene C antagonist
0.848	0.003	Antidiabetic
0.831	0.009	Nootropic
0.831	0.002	Beta-Lysine 5,6-aminomutase inhibitor
0.812	0.014	Glutamine-phenylpyruvate transaminase inhibitor
0.665	0.045	Phosphatidylserine decarboxylase inhibitor
0.648	0.004	Ethanolamine oxidase inhibitor
0.629	0.084	Glucose oxidase inhibitor
0.624	0.004	Maillard reaction inhibitor
0.553	0.031	Phenylalanine(histidine) transaminase inhibitor
0.446	0.227	Antibacterial activity enhancer
0.397	0.079	Nicotinate dehydrogenase inhibitor
0.341	0.075	Antidepressant
0.258	0.106	Antituberculosic

Прогноз показал, что фосеназид не токсичен и проявляет биологическую активность не только в качестве нейропротектора, но и препарата для лечения ожирения и диабета, ноотропа, ингибитора трансаминазы и т.д.

Ранее фосеназид синтезировали по схеме 1 [5].

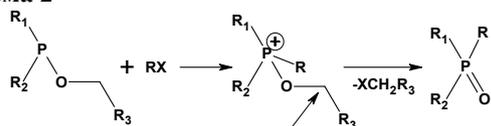
**Схема 1**



Весь процесс проводится в одну технологическую стадию благодаря использованию на первой стадии окиси этилена, что исключает выделение промежуточных дифенилфосфинитов [6]. Однако данный метод получения гидразида дифенилфосфорилуксусной кислоты имеет существенный недостаток, а именно, опасность работы с окисью этилена, что затрудняет внедрение этого метода в промышленное производство.

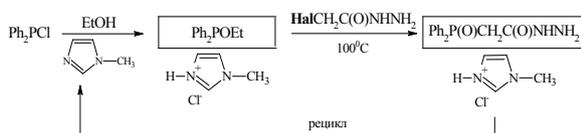
Альтернативным методом получения фосеназида может быть реакция Арбузова (схема 2).

**Схема 2**

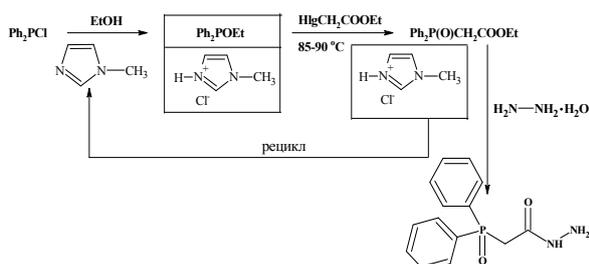


С использованием недавно появившихся публикаций [7] о проведении Арбузовской реакции в ионных жидкостях (ИЖ) в мягких условиях нами предприняты попытки к реализации реакции по схеме 2 в различных условиях (схемы 3 и 4).

**Схема 3**



**Схема 4**



В качестве галогенпроизводного использовали гидразид и этиловый эфир  $\alpha$ -галогензамещенной уксусной кислоты.

Разработка предлагаемого метода синтеза фосеназида предполагает отработку следующих условий:

- использование в качестве ИЖ хлористых имидазола и 1-метилимидазола;
- использование различных мольных соотношений исходных реагентов;
- использование различных растворителей.

Было найдено, что из двух ИЖ – хлористого имидазола и хлористого 1-метилимидазола – фосеназид образуется только в присутствии хлористого 1-метилимидазола.

Исследование влияния растворителя на процесс получения фосеназида показало, что в растворителе образуется фосеназид, без растворителя – хлоргидрат фосеназида.

Из галогензамещенных производных уксусной кислоты высокую активность показали производные монобромуксусной кислоты.

**Литература:**

- [1] Иванова Е. Комплексные препараты для лечения заболеваний ЦНС: простое решение сложной проблемы / Е.Иванова // Фармацевтический вестник. – 2007. - № 19 (466). – С.9
- [2] Тарасова, Р.И. Синтез и реакционная способность биологически активных азотсодержащих производных фосфорилированных карбоновых кислот / Р.И. Тарасова, В.В. Москва // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. - 1999. – Вып. 1. – С. 77-82.
- [3] Тарасова, Р.И. Синтез и фармакологические свойства фосфориацетогидразинов и фосфориацетогидразинов / Р.И. Тарасова, О.В. Воскресенская, И.И. Семина, Т.В. Курмышева, В.П. Балашов, В.В. Москва // Хим.-фарм. журнал. – 2002. – Т.36. – Вып. 6. – С. 17-20.
- [4] Филимонов Д.А. Прогноз спектра биологической активности органических соединений / Д.А. Филимонов, В.В. Поройков // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2006. – т. L. – № 2. – С. 66-75.
- [5] Разумов А.И. Одностадийный способ получения гидразида дифенилфосфинилуксусной кислоты (гидифена) / А.И. Разумов, Р.И. Тарасова, А.С. Михеева, В.Г. Николаева, Р.Л. Яфарова // Журн. прикл. химии – 1983. – т.54, № 2 – С.342-344
- [6] Разумов А.И., Тарасова Р.И., Николаева В.Г., Яфарова Р.Л./ Способ получения гидразида дифенилфосфинилуксусной кислоты /А.С. №467593 (1973). Б.И. 1975. №14.
- [7] Матвеева Е.В. Синтез практически значимых фосфорорганических соединений в ИЖ и воде // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. Москва - 2009.

## ТЕСТ-СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ AlGaN и GaInN

Менькович Е.А., Ламкин И.А.

Научный руководитель: Тарасов С.А., к.ф.-м.н., доцент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова  
(Ленина) (СПбГЭТУ), 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

E-mail: [ankat.kate@gmail.com](mailto:ankat.kate@gmail.com)

Уникальные свойства эпитаксиальных светоизлучающих наногетероструктур на основе твердых растворов AlGaN и GaInN позволяют рассматривать светотехнические приборы, выполненные с их применением, в качестве перспективной замены традиционным источникам освещения. Перспективные разработки в технологии создания таких структур дают возможность создавать белые и синие светодиоды (СИД), световая эффективность которых достигает 150 Лм/Вт, в то время как эффективность лампы накаливания составляет всего 10 Лм/Вт. Благодаря низкому энергопотреблению энергоэффективные источники освещения (ЭИО) на основе таких СИД безопасны и экономичны. Высокий срок службы СИД также повышает выгоду использования ЭИО в быту и на производстве. Кроме того в составе таких источников излучения не используются ртуть и другие ядовитые вещества, а при их утилизации не требуется специальных условий и оборудования.

Тем не менее, рассматриваемые ЭИО пока используются недостаточно широко. Причина этому – высокая цена продукта и возможная деградация излучающего кристалла в процессе работы. Последнее может быть вызвано наличием дефектов и упругих напряжений на границах гетероструктур, которые возникают в результате выбора неоптимальной конструкции структуры или отклонения от заданных технологических режимов выращивания. Одним из основных следствий появления подобных дефектов является сильный самонагрев, возникающий в активной области наногетероструктуры, существенно понижающий достижимую мощность излучения и снижающий срок службы структуры. Диагностика наличия самонагрева может позволить производить быструю отбраковку некачественных изделий на всех этапах производства, что даст возможность уменьшить затраты производителя и конечную цену светодиодной продукции. Глубокое исследование процессов самонагрева также позволит выявить недостатки технологии создания излучающих наногетероструктур и разработать рекомендации по оптимизации их конструкции с целью улучшения излучательных характеристик. Представленная работа посвящена разработке быстрой, неразрушающей и недорогой тест-системы диагностики качества светоизлучающих наногетероструктур и приборов на их основе.

В основу разрабатываемой тест-системы было решено положить новую методику определения температуры активной области светоизлучающих

гетероструктур. Существующие сегодня методики обладают рядом недостатков:

1) Являются контактными, из-за чего не позволяют диагностировать отдельные кристаллы, не разделенные на чипы, а также СИД в готовых изделиях (например, в светодиодных лампах, табло или матрицах), поскольку требуется выпайвание измеряемого образца из общей схемы;

2) Не позволяют с высокой точностью определить реальную температуру активной области. При наличии градиентов температуры как в плоскости p-n-перехода, так по нормали к ней, измеряется некая «усредненная» температура по кристаллу в целом. Какой вклад в эту измеряемую величину вносит непосредственно активная область в большинстве случаев неизвестно. Также большой погрешностью обладает метод определения температуры активной области через зависимость длины волны в максимуме излучения от температуры из-за наличия шумов и возможной интерференции в спектре излучения упакованной наногетероструктуры.

Предлагаемая в работе методика позволила исключить указанные выше проблемы. В ее основу легла теория Ван-Русбрека-Шокли. Методика заключается в детальном анализе спектра люминесценции светоизлучающих наногетероструктур (см. рис.1.). Применение данного подхода позволило разработать быструю диагностическую методику, позволяющую проводить измерения светоизлучающих наногетероструктур за время менее 1 с. Методика дает возможность исследовать как отдельные полупроводниковые структуры, так и кристаллы в составе пластин до их разделения на чипы, а также светодиоды, входящие в состав готовых ЭИО, светодиодных табло и экранов.

Тест-система диагностики качества наногетероструктур включает блок питания, мультиметр, стенд с держателем для тестируемых образцов, термостат, компьютер с установленным на нем специализированным программным обеспечением (ПО). Для повышения точности в установке была реализована система по измерению спектров люминесценции излучения СИД в соответствии с международным стандартом CIE 127:2007 и ГОСТ 17616-82.

Для этого было использовано оборудование компании OceanOptics:

1. Спектрометр быстрого сканирования USB4000;
2. Сфера FOIS-1;
3. Эталонная лампа LS-1-CAL-IN, которая позволяет откалибровать спектрометр по чувствительности в целях уменьшения погрешности получаемой в процессе эксперимента.

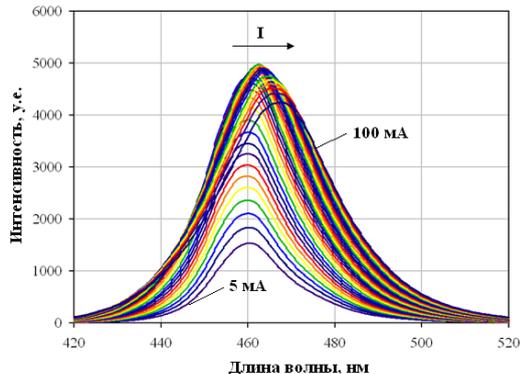


Рис. 1.

1. Спектры излучения наногетероструктур, измеренные при пропускании прямых токов различной величины.

Как видно, для реализации тест-системы не требуется излишне дорого и сложного оборудования. В масштабах серьезной исследовательской лаборатории или серийного производства затраты на установку такого стенда вполне приемлемы.

Для ускорения процесса эксперимента, используемые в тест-системе приборы, управляются специально разработанной программой автоматизации исследования, написанной в программной среде LabView. Кроме того в функции ПО входит математический анализ полученных данных, расчет температуры активной области и температурного сопротивления наногетероструктур. В целом данная программа позволяет:

1. Проводить анализ спектральных характеристик, наглядно отображать их в относительных и абсолютных единицах измерения (см. рис. 2.);
2. Строить зависимости интенсивности и длины волны излучения в максимуме от тока и температуры окружающей среды;
3. Рассчитывать температуру активной области наногетероструктур (см. рис. 3.);
4. Рассчитать тепловое сопротивление  $R_T$  структуры;
5. Производить фильтрацию шумов;
6. Максимально снизить оперативную погрешность;
7. Максимально повысить скорость диагностики СИД.

При помощи разработанной тест-системы были исследованы несколько сотен светодиодов разных типов, выполненных на основе твердых растворов AlGaIn и GaInN. В результате проведенных экспериментов было обнаружено, что основной вклад в самонагрев может вносить не конструкция и материал корпуса готового СИД, но именно состав и качество излучающей наногетероструктуры. Обнаружено, что гетероструктуры, содержащие множественные квантовые ямы в сочетании со сверхрешеткой обладают более высокой стабильностью работы, а мощность излучения подобных образцов выше более чем в 3 раза. Это говорит о снижении плотности дефектов в таких структурах, поскольку добавление в кристалл сверхрешетки по всей вероятности снижает величину упругих напряжений и пьезополей на гетерограницах в активной области, а также способствует уменьшению плотности дислокаций в наногетероструктурах.

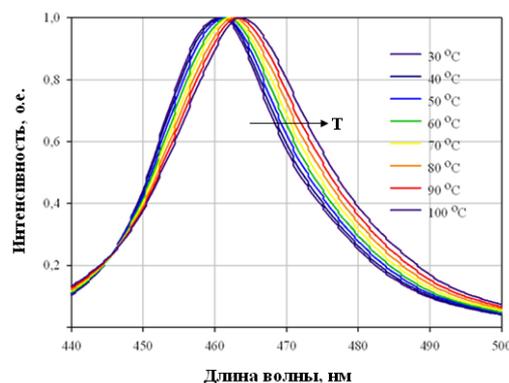


Рис. 2. Спектры излучения наногетероструктур, измеренные при различных температурах окружающей среды

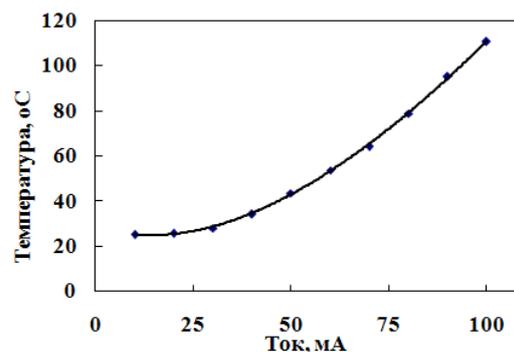


Рис. 3. Зависимость температуры активной области наногетероструктуры от величины пропускаемых прямых токов

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ ДОКСОРУБИЦИНА НА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДНОМ СОРБЕНТЕ

Митькина В.А., Рязанова Т.А.

Научный руководитель: Юрмазова Т.А., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [mva09@sibmail.com](mailto:mva09@sibmail.com)

Ранее в работе [1] была показана высокая эффективность сорбции доксорубицина (ДР) на железоуглеродных наночастицах, используемых для адресной доставки лекарственных препаратов. В то же время остался невыясненным вопрос о термодинамике сорбции, кинетических закономерностях (константа скорости адсорбции, энергия активации) сорбционного процесса. В связи с этим, целью настоящей работы является изучение термодинамических, кинетических и электрокинетических свойств процесса адсорбции доксорубицина на железоуглеродном сорбенте.

Наноразмерный желехоуглеродный сорбент (ЖУС) был получен в результате электроискрового диспергирования железных гранул в гексане. Согласно ранее полученным данным [1], используемый образец является многофазным композиционным материалом, включающим в свой состав фазы  $\alpha$ -Fe (33 об. %), FeC (9,6 об. %) и Fe<sub>3</sub>C (54,3 об. %). Кроме того, по данным электронно-дифракционного анализа на поверхности частиц имеется фаза гексагонального графита. Площадь удельной поверхности составляет 55 м<sup>2</sup>/г.

Для получения кинетических зависимостей процесса адсорбции на ЖУС навеску сорбента массой 50 мг заливали 50 мл раствора с начальной концентрацией адсорбата 40 мг/л и подвергали воздействию ультразвука в течение 5 мин для деагломерации порошка. Через определенные промежутки времени определяли остаточную концентрацию ДР. Кинетические кривые адсорбции были получены при 18, 40, 60 °С

Для определения природы и числа активных центров на поверхности ЖУС была исследована адсорбция H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup>. Для этого готовили растворы HCl (х.ч.) и NaOH (х.ч.) различных концентраций, и их pH измеряли с помощью иономера И-160, точность определения pH  $\pm 0,02$ . Далее навески ЖУС по 50 мг помещали в порции растворов 50 мл, имеющие различные значения pH. После выдержки с перемешиванием в течение 2 ч центрифугировали и снова измеряли pH.

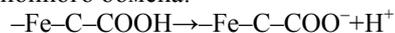
Для определения термодинамических параметров процесса адсорбции доксорубицина на ЖУС были получены изотермы адсорбции при различных температурах (18, 30, 40, 60 °С). Изотермы хорошо аппроксимируются уравнением Лэнгмюра, это свидетельствует о том, что адсорбция локализована на отдельных адсорбционных центрах. Из полученных изотерм были рассчитаны значения констант равновесия и максимальных сорбционных емкостей, табл. 1.

**Таблица 1.** Значения термодинамических параметров процесса сорбции доксорубицина на железоуглеродном сорбенте

Температура сорбции, °С	$K_p, 10^4$ , л/моль	$A$ , мкмоль/г	$\Delta G$ , кДж/моль
18	5,7	48	-26,1
30	9,8	71,4	-28,1
40	11,0	76,9	-30,1
60	20,6	83,3	-33,7

Исходя из значений констант сорбционного равновесия были рассчитаны интегральные изменения энтальпии ( $\Delta H^0$ ) и энтропии ( $\Delta S^0$ ) адсорбции. Рассчитанные значения составили  $\Delta H^0 = -26,6$  кДж/моль,  $\Delta S^0 = 182,5$  Дж/(К·моль). Из таблицы видно, что с увеличением температуры происходит увеличение констант адсорбции, что свидетельствует об эндотермическом процессе. Это также подтверждается значением энтальпии процесса адсорбции. В работах [2, 3] на примере различных адсорбентов было показано, что адсорбция катионов тяжелых металлов и модельных органических веществ носит эндотермический характер и протекает с увеличением энтропии. Этот факт является доказательством протекания химических процессов с образованием прочных поверхностных комплексов. Увеличение энтропии и максимальной сорбционной емкости объясняется протеканием химических реакций, а также увеличением общего количества центров и их доступностью [3]. В то же время природа активных центров адсорбции, а также возможный механизм их активации неизвестен.

Ранее в работе [1] нами показано, что адсорбция доксорубицина, как первая стадия взаимодействия, протекает с участием гидроксидных групп поверхности и определяется процессами их диссоциации и ионного обмена:



Очевидно, после адсорбции меняется структура плотного слоя Гуи и диффузного слоя Гуи-Чепмена и происходит химическое взаимодействие ЖУС с водой, что и приводит к увеличению энтропии. Эндотермичность химических процессов объясняется протеканием двух противоположных по знаку теплового эффекта процессов: эндотермического процесса диссоциации поверхностных групп с образованием дополнительных центров адсорбции и экзотермического процесса адсорбции доксорубицина [1].

В настоящей работе также были получены зависимости изменения концентрации ДР при адсорбции на ЖУС при различных температурах. Из

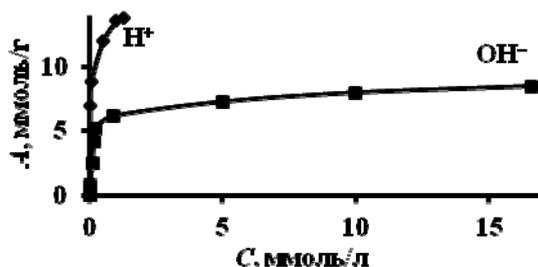
полученных зависимостей рассчитаны значения констант скоростей адсорбции и десорбции, энергии активации процессов, данные приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Значения кинетических параметров процесса сорбции доксорубина на железоуглеродном сорбенте

Температура сорбции, °С	$K_{адс}, \text{мин}^{-1}$	$K_{дес}, \text{мин}^{-1}$
18	0,0013	0,00072
40	0,0032	0,00080
60	0,0052	0,00085

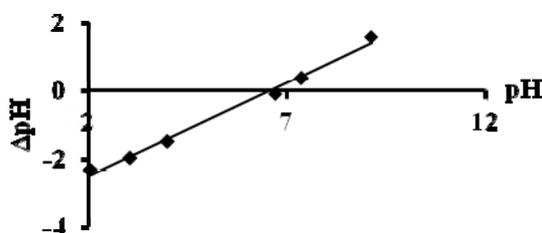
Значение энергии активации процесса составило 29 кДж/моль, поэтому можно предположить, что процесс адсорбции лимитруется стадией химического взаимодействия доксорубина с поверхностью ЖУС. Значение константы адсорбции много больше константы десорбции, что свидетельствует о том, что данный процесс практически не обратим.

Для определения количества активных адсорбционных центров был использован метод потенциометрического титрования. Полученные данные приведены на рис. 1.



**Рис. 1.** Изотерма адсорбции ионов  $H^+$  и  $OH^-$  на железоуглеродном сорбенте.

Согласно представленным на рис. 1 изотермам сорбции  $H^+$  и  $OH^-$  сорбционная емкость ЖУС по ионам водорода больше, что и определяет отрицательный заряд поверхности. По полученным данным построена зависимость  $\Delta pH - pH$  (рис. 2) из которой было определено значение  $pH$  изоионного состояния.



**Рис. 2.** Зависимость изменения  $pH$  от исходного  $pH$  суспензии

Как видно из рис. 2, значение  $pH$  изоионного состояния составляет 6,8. Данная величина совпадает с ранее полученным значением  $pH$  изоэлек-

тронного состояния, которое составляет 6,6. Это свидетельствует о том, что сорбционные и электрокинетические свойства ЖУС определяются только процессами диссоциации поверхностных гидроксидных групп [1].

Тангенс угла наклона в координатах  $\Delta pH - pH$  характеризует величину доступной поверхности сорбента для  $H^+$  и  $OH^-$ , она составила 0,61. Это свидетельствует о том, что в процессе адсорбции участвуют только 61% возможных центров адсорбции.

Из полученных изотерм рассчитана концентрация адсорбированных частиц ДР, которая составляет  $0,9 \cdot 10^{18}$  молек/ $m^2$ , для  $OH^-$  эта величина  $0,9 \cdot 10^{20}$  молек/ $m^2$ , а для  $H^+$  –  $1,5 \cdot 10^{20}$  молек/ $m^2$ . Количество адсорбированных  $H^+$  и  $OH^-$  на два порядка выше числа адсорбированных частиц ДР. Полученные значения можно объяснить тем, что ионы  $H^+$  и  $OH^-$  свободно сорбируются на доступные активные центры поверхности сорбента, тогда как в случае с крупной молекулой метиленового голубого существует возможность их экранирования.

#### Выводы:

1. Исследован процесс взаимодействия доксорубина и железоуглеродного сорбента при различных температурах, рассчитаны термодинамические параметры.
2. Из кинетических зависимостей рассчитаны константы адсорбции и десорбции, показано, что процесс адсорбции практически необратим.
3. Экспериментально определена концентрация адсорбционных центров на железоуглеродном сорбенте методом потенциометрического титрования для ионов  $H^+$  и  $OH^-$ .

#### Список литературы:

1. Митькина В.А. Исследование механизма адсорбции на наноразмерных сорбентах на основе железа, полученных методом импульсного электрического диспергирования. //Современные техника и технологии: Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 18–22 апреля 2011. - Томск: ТПУ, 2011. - с. 421–422.
2. Cruz-Olivares J., Perez-Alonso C., Barrera-Dhaz C., Natividad R., Chaparro-Mercado M.C. Thermodynamical and analytical evidence of lead ions chemisorption onto Pimenta dioica // Chemical Engineering Journal. – 2011. – V. 168. – № 2. – P. 814–821.
3. Abd El-Latif M.M., Ibrahim Amal M., El-Kady M.F. Adsorption Equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using biopolymer oak sawdust composite // Journal of American Science. – 2010. – V. 6. – № 6. – P. 267–283.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ

Мошкина А.В., Роденко О.Л., Гушин В.А.

Научный руководитель: Чистоедова И.А., к.т.н., доцент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: [aleksandra\\_moshkina@mail.ru](mailto:aleksandra_moshkina@mail.ru)

В настоящее время разработка высокоэффективных мощных светодиодных кристаллов, излучающих в синем и ультрафиолетовом диапазонах, является одной из основных задач в исследовании полупроводниковых приборов на основе нитрида галлия и его твердых растворов. Одной из основных характеристик эффективности светодиодов является внешний квантовый выход, величина которого на сегодня составляет 35% для синих светодиодов.

Внешний квантовый выход можно увеличить несколькими путями:

1. Созданием микрорельефа на поверхности кристалла. При создании микрорельефной световыводящей поверхности в оптическом покрытии можно ожидать повышение внешней квантовой эффективности за счет эффекта переотражения света в микрорельефе.

2. Нанесение просветляющего покрытия на поверхность (например, пленки  $\text{SiO}_2$ );

3. За счет увеличения площади рассеивающей свет поверхности.

Внешняя квантовая эффективность светодиодного кристалла определяется двумя основными величинами – внутренней эффективностью полупроводниковой гетероструктуры и эффективностью вывода света из светодиодного кристалла. Основным физическим эффектом, ограничивающим эффективность вывода света, является эффект полного внутреннего отражения на границе материала с высокой оптической плотностью (полупроводника) и материала с низкой оптической плотностью (сапфировой подложки и (или) воздуха). Свет, распространяющийся в полупроводнике под углом, превосходящим угол полного внутреннего отражения, оказывается захваченным в волновод, образованный полупроводниковым слоем, и распространяется в нем, постепенно затухая. Для светодиодных кристаллов на основе AlGaN-гетероструктур критический угол составляет  $\sim 23^\circ$  (показатели преломления GaN и сапфира 2,5 и 1,6, соответственно), и, следовательно, вывод света с поверхности кристалла не превышает 5%.

Для получения максимального эффекта просветления были проведены расчеты критического угла полного внутреннего отражения для различных покрытий. Для светодиодных кристаллов на основе InGaN-гетероструктур критический угол составляет  $\sim 23^\circ$  (показатель преломления GaN и воздуха равны 2,5 и 1,0, соответственно). Для комбинации GaN и оптическое покрытие  $\text{SiO}_2$  (показатели преломления GaN и  $\text{SiO}_2$  равны 2,5 и 1,45, соответственно) критический угол  $\sim$

$35,5^\circ$ . Для комбинации GaN и оптическое покрытие ИТО (показатели преломления GaN и ИТО равны 2,5 и 1,9, соответственно) критический угол  $\sim 49,5^\circ$ .

Излучение, падающее на поверхность раздела полупроводник — воздух под углом, меньшим критического, выводится из кристалла, а под углом, большим критического, испытывает полное внутреннее отражение. Если коэффициент поглощения света веществом кристалла велик, то все отраженное световыводящей поверхностью излучение поглотится внутри кристалла.

Нанесение оптического покрытия приводит к увеличению угла полного внутреннего отражения и позволяет повысить эффективность вывода света из светодиодного кристалла.

Также внешний квантовый выход увеличивается при создании микрорельефа на поверхности, представляющего собой множество микропирамид. Излучение, попадая на поверхность пирамиды, отражается под тем же углом и в большинстве случаев попадает на грань соседней пирамидки. При этом, только за счет создания микрорельефа на поверхности удается снизить коэффициент отражения кремния с 35% до 11%.

Микрорельефные поверхности формируют как во внешнем слое (ИТО), так и непосредственно в GaN. С целью создания микрорельефных поверхностей используются различные методы травления сапфира, *n*-GaN, *p*-GaN, ИТО, позволяющих увеличить внешнюю квантовую эффективность светодиодного кристалла.

Исходя из анализа литературы в основном микрорельеф создают диаметром 0,1 – 0,5 мкм, шагом (периодом) 0,3 – 0,5 мкм [1-4].

Все методы создания микрорельефной поверхности (травление в KOH, лазером, индицирование при гетероэпитаксии) позволяют увеличить внешний квантовый выход до 40%. Но недостатком этих методов является трудность травления самого GaN, а также ухудшение параметров гетероструктуры при формировании глубокого микрорельефа малых размеров на всей площади кристалла из-за ограниченности толщины слоев *n*-GaN (3 – 4 мкм) и *p*-GaN (0,15 – 0,2 мкм).

В данной работе микрорельефные поверхности были созданы в просветляющем покрытии  $\text{SiO}_2$  на кремнии. На поверхность кремниевой пластины наносится просветляющее покрытие из диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) с оптической толщиной, соответствующей  $\lambda/4$ , методом магнетронного распыления. С целью уменьшения негативного воздействия плазмы на структуру проводится отведение электронного пучка из зоны осаждения.

В эксперименте по отработке технологии формирования микрорельефа толщина пленки  $\text{SiO}_2$  ( $n = 1,41$ ) составила 80 нм для длины волны  $\lambda = 455$  нм. В просветляющем покрытии из диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) была сформирована микрорельефная поверхность упорядоченной структуры в виде nanoострий. На рисунке 1 представлено изображение поверхности с nanoостриями, сформированными с помощью электронно-лучевой литографии на установке Raith 150 в НОЦ «Нанотехнология». Расстояние между остриями 350 нм, диаметр основания острия 210 нм, что соответствует плотности nanoострий  $5 \cdot 10^8$  шт/см<sup>2</sup>.

Оптические характеристики пленки  $\text{SiO}_2$ , нанесенной на кремний, были исследованы с помощью лазерного эллипсометра ЛЭМ-3:

$\text{SiO}_2$ :  $n = 1,45$ ,  $d = 98$  нм;

$\text{SiO}_2$  (с микрорельефом):  $n = 1,46$ ,  $d = 93$  нм.

На рисунке 2 приведены спектры отражения для пленки  $\text{SiO}_2$  с микрорельефом.

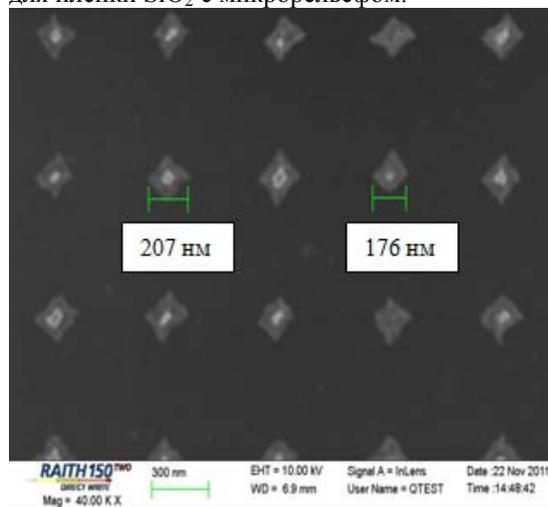


Рис. 1 – Микрорельефная поверхность в виде пирамидок

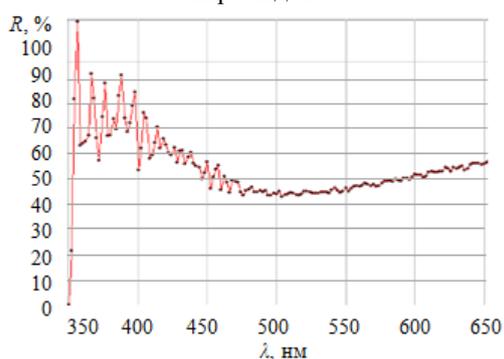


Рис. 2 – Спектр отражения пленки  $\text{SiO}_2$  с микрорельефом

Оптические характеристики исследовались на рабочей длине волны лазерного эллипсометра 632,8 нм. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Оптические характеристики пленки  $\text{SiO}_2$ , нанесенной на кремний.

	Коэффициент отражения, %
	$\lambda = 632,8$ нм
Si	30
Si + $\text{SiO}_2$	40
Si + $\text{SiO}_2$ (с микрорельефом)	55

Анализ экспериментальных результатов показывает, что при формировании в пленке  $\text{SiO}_2$  микрорельефа коэффициент отражения увеличивается с 30 % до 55 %.

#### Список литературы:

- Improvement of InGaN–GaN Light-Emitting Diode Performance With a Nano-Roughened p-GaN Surface // Увеличение эффективности светодиодов на основе InGaN–GaN с помощью nanoшероховатой поверхности p-GaN / Hung-Wen Huang, C. C. Kao, J. T. Chu, H. C. Kuo, Member, IEEE, S. C. Wang, Member, IEEE, and C. C. Yu // Ieee photonics technology letters.- 2005. - Т. 17; № 5. – с. 983 – 985.
- Enhancement in light output of InGaN-based microhole array light-emitting diodes // Увеличение светоэффективности микроотверстиями / Hsueh T.H., Sheu J.K., Huang H.W., Chu J.Y., Kao C.C., Kuo H.C., Wang S.C. // IEEE Photon. Technol. Lett. - 2005. – Т.17; №6. – с. 1163 – 1165. – ISSN 1041-1135. – Библиогр.: 14 назв.
- Improved light extraction efficiency of InGaN-base light-emitting diodes with patterned n-Ga substrate// Улучшение световой эффективности светодиодов на основе InGaN/ Kwon Kwang-Woo, Park Si-Hyun, Cho Seong-Su, Kim Bong-Jin, Kim Ig-Hyeon, Lee June Key, Ryu Sang Wan, Kim Young Ho // Jap. J. Appl. Phys. Pt 1.-2007. – Т.46; №12. – с.7622 – 7625 – ISSN 0021-4922. – Библиогр.: 19 назв.
- Nanoepitaxy to improve the efficiency of InGaN light-emitting diodes // Наноэпитаксия для улучшения эффективности светодиодов на основе InGaN / K. Y. Zang, S. J. Chua, J. H. Teng, N. S. S. Ang, A. M. Yong, and S. Y. Chow//APPLIED PHYSICS LETTERS.-2008. - Т.92; 243126. – с.1 – 3.
- GaN-based blue light-emitting diodes grown and fabricated on patterned sapphire substrates by metalorganic vapor-phase epitaxy // Светоизлучающие диоды синего цвета на основе GaN, выращенные и изготовленные на рельефных сапфировых подложках с помощью металлоорганической газофазной эпитаксии/ Z.H. Feng, Y.D. Qi, Z.D. Lu, Kei May Lau// Journal of Crystal Growth.- 2004. - №272. – с.327 – 332.

## СИНТЕЗ И ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ N-ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОВ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Мушлайкина Л.А., Петрова А.В., Сайфутдинова М.Н.

Научный руководитель: Шаталова Н.И., к.х.н., доцент  
ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 420015, Россия, Казань, ул. К. Маркса, 68

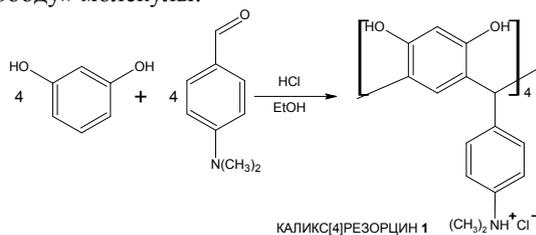
E-mail: [luida0506@mail.ru](mailto:luida0506@mail.ru)

Химия каликсаренов, в частности каликс[4]резорцинов, интенсивно исследуется на протяжении последних 30 лет. Повышенный интерес к этим макромолекулам связан с возможностью их использования в качестве строительных блоков для конструирования супрамолекулярных и координационных систем, которые находят применение для создания новых типов материалов, катализаторов, экстрагентов, а также в качестве переносчиков лекарственных препаратов клетке-мишени [1].

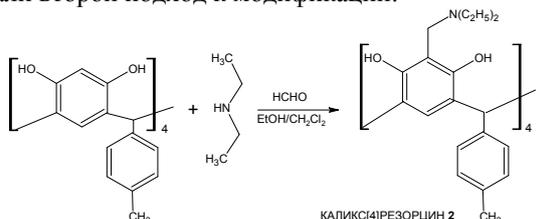
Особый интерес представляют собой азотсодержащие каликс[4]резорцины, в частности, аминосодержащие. Эти соединения могут быть базовыми (за счет участия аминогрупп) в синтезе новых типов кавитандов, контейнерных соединений и нанотрубок. Кроме того, модификации каликс[4]резорцинов потенциальными биологически активными фрагментами может привести к созданию новых типов экстрагентов биологических молекул и лекарственных препаратов.

В настоящей работе использовались два подхода к модификации каликсареновой матрицы: 1) кислотно-катализируемая конденсация резорцина с *n*-диметиламинобензальдегидом; 2) использование готовой каликсареновой матрицы для введения аминного остатка в условиях реакции Манниха.

При реализации первого подхода к модификации нами был получен каликс[4]резорцин **1**, несущий *n*-диметиламмонийный фрагмент по нижнему «ободу» молекулы:



С целью синтеза каликс[4]резорцина **2**, содержащего диэтиламиногруппу в *o*-положении по отношению к гидроксильным группам резорцинового кольца (верхний «обод»), мы использовали второй подход к модификации:



На стадии планирования фармакологических исследований соединений **1**, **2** проведен расчет прогнозируемой биологической активности с помощью программы PASS [2] (таблицы 1, 2).

**Таблица 1.- Расчет прогнозируемой биологической активности соединения 1**

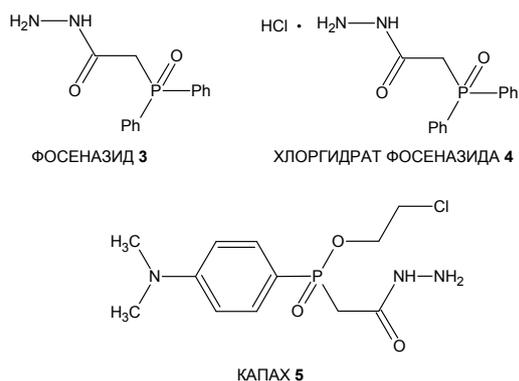
Pa for Activity	Pi for Activity	Possible activities
0,826	0,086	Transferase stimulant
0,756	0,003	Antidote, cyanide
0,728	0,021	Antineurotoxic
0,726	0,020	Fibrinolytic
0,643	0,063	Mucomembranous protector
0,643	0,067	Antiseborrheic
0,605	0,052	Nerve growth factor agonist

**Таблица 2. Расчет прогнозируемой биологической активности соединения 2**

Pa for Activity	Pi for Activity	Possible activities
0,852	0,014	Antiseborrheic
0,665	0,053	Phosphatase inhibitor
0,646	0,057	Fibrinolytic
0,624	0,077	Neuroprotector
0,565	0,032	Antihypoxic
0,556	0,029	Spermicide
0,585	0,072	Tachycardia

Прогноз показал, что соединения **1** и **2** не токсичны и проявляют биологическую активность в следующих областях: антисеборрейная, в качестве нейропротектора, противовирусного средства, фибринолитика и т.д. Одновременно соединения **1**, **2** исследованы на токсичность в Казанском государственном медицинском университете. Результаты показали, что соединения **1** и **2** не токсичны, что совпадает с расчетными данными.

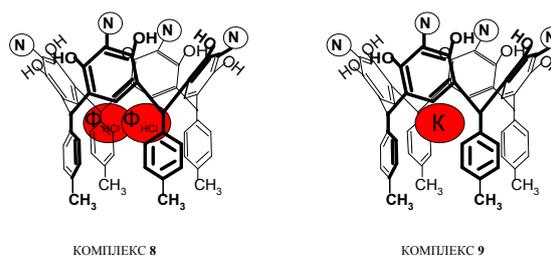
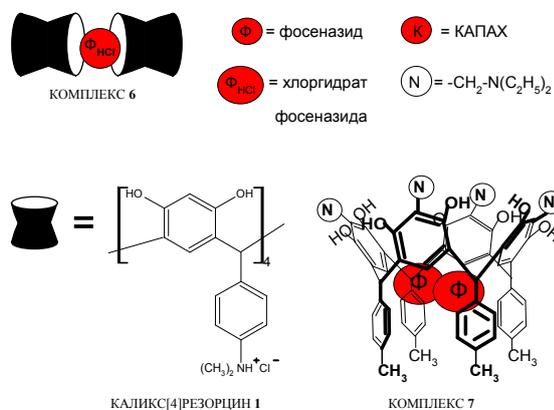
Синтезированные каликс[4]резорцины **1** и **2** исследовались в реакции комплексообразования по типу «гость-хозяин» с фосеназидом **3** ([2-(дифенилфосфорил)ацетогидразид]), хлоргидратом фосеназида **4**, КАПАХом **5** (2-[4-(диметиламино)фенил]-[(2-хлорэтокси)фосфорил]ацетогидразид) [3]:



Комплекс фармакологических эффектов фосеназида и его клинические испытания [4] характеризуют фосеназид как «дневной транквилизатор с выраженной вегетотропной активностью и противозипилептическим действием». Препарат действует успокаивающе на центральную нервную систему, устраняя тревогу, внутреннее напряжение. Углубленное изучение гидразида дифенилфосфорилуксусной кислоты показало его специфическую антиалкогольную активность. Наряду с психотропным действием фосеназид обладает способностью улучшать процессы обучения и память, а также проявляет положительные эффекты в клинике сердечно-сосудистых заболеваний.

КАПАХ наряду с ноотропным эффектом проявляет выраженное нейропротекторное действие с антидепрессивным компонентом [5]. Кроме того, он оказался перспективным для лечения болезни Альцгеймера [6].

Выделенные комплексы 6-9 были исследованы методами ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{31}\text{P}$ , ИК - спектроскопии, состав определяли элементным анализом. По данным элементного анализа на одну молекулу хлоргидрата фосеназида 4 приходится две молекулы каликс[4]резорцина 1 (комплекс 6), а соотношение каликс[4]резорцина 2 и гидразида фосфорилуксусных кислот 3-5 в комплексах 7-9 следующее: 1:2 (комплекс 7), 1:2 (комплекс 8), 1:1 (комплекс 9):



Соединения 6-9 испытаны на фармакологическую активность в Казанском государственном медицинском университете на кафедре фармакологии фармацевтического факультета. С целью изучения влияния соединений 6-9 на центральную нервную систему (ЦНС) было проведено исследование на: 1) способность улучшать процессы обучения (ноотропная активность) – метод «Условная реакция пассивного избегания»; 2) двигательную и исследовательскую реакцию (ориентировочная активность) - методы «Открытое поле», «Крестообразный лабиринт» и «Т-образный лабиринт» [7].

Результаты показали, что соединения 6-9 обладают большей ноотропной активностью по сравнению с исходными субстанциями.

#### Литература:

- [1] M. N. V. Ravi Kumar (2008), Handbook of Particulate Drug Delivery (2-Volume Set), p.740
- [2] Филимонов Д.А. Прогноз спектра биологической активности органических соединений / Д.А. Филимонов, В.В. Поройков // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2006. – Т. L. – № 2. – С. 66-75.
- [3] Тарасова Р.И. Биологически активные производные фосфорилированных карбоновых кислот / Р.И. Тарасова, В.В. Москва // Журн. Общ. Хим. - 1997.-Т.67.-№ 9.- С.1483-1496.
- [4] Тарасова, Р.И. Синтез и фармакологические свойства фосфорилацетогидразинов и фосфорил-ацетогидразинов / Р.И. Тарасова, О.В. Воскресенская, И.И. Семина, Т.В. Курмышева, В.П. Балашов, В.В. Москва // Хим. - фарм. журнал – 2002. – Т.36. – Вып. 6. – С. 17-20.
- [5] Семина, И.И. Нейропротективное действие КАПАХ, представителя нового класса ноотропов – неантихолинэстеразных фосфорорганических соединений / И.И. Семина, Н.А. Тихонова, А.З. Байчурина, Р.И. Тарасова, В.А. Павлов, Е.В. Шиловская, Р.С. Гараев // Вестник РАМН. – 1999. – Вып. 3. – С. 32-36.
- [6] Semina I. Memory Enhancing effects of CAPAX. Original Mechanisms of Action on Cholinergic Neurotransmission. A promise for Alzheimer's disease / I. Semina, A. Baichourina, E. Bukharaeva, E. Nikolskiy, R. Tarasova // J. Neurochemistry. – 1999. – Vol. 73. – P. S31-S32.
- [7] Пошивалов В.П. Экспериментальная психофармакология агрессивного поведения. - Л.: Наука, 1986. - 174 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ Zr-Y-O И Si-AL-N МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИШЕНЕЙ

Никалин А.Ю., Сергеев В.П., Нейфельд В. В., Калашников М. П.

Научный руководитель: Сергеев В.П.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: [pnau733@mail.ru](mailto:pnau733@mail.ru)

### 1. Введение

Современные требования к эксплуатационным характеристикам деталей авиационно-космической техники делают актуальной задачу нанесения покрытий с высокими термомеханическими свойствами, на поверхности узлов трения работающих в экстремальных условиях, на основе систем Zr-Y-O и Si-Al-N [1]. Эти материалы обладают низким коэффициентом линейного расширения, значительной прочностью и стойкостью к термическим ударам, а так же высокой износостойкостью [2, 3].

В данной работе исследуется метод получения покрытий с высокими термомеханическими свойствами на основе систем Si-Al-N и Zr-Y-O с применением ионно-магнетронного распыления. Целью работы является изучение возможностей улучшения структуры и повышения термомеханических свойств покрытий на основе Si-Al-N и Zr-Y-O путем послойного осаждения при магнетронном распылении мозаичных алюминиево-кремниевой и циркониево-иттриевой мишеней.

### 2. Методика эксперимента

Процесс осаждения покрытий на основе систем Si-Al-N и Zr-Y-O проводили с помощью вакуумной установки типа «Квант» [4] (рис. 1), оснащенной двумя круговыми планарными магнетронами мощностью 5 кВт с мозаичными мишенями диаметром 120 мм. Питание магнетронов осуществлялось от импульсного источника с частотой повторения импульсов тока до 50 кГц и скважностью 80 %, работающего в режиме стабилизации мощности разряда. Покрытия наносили на образцы размером 15×5×5 мм, которые изготавливались из прутка стали марки 30ХГСН2А. Поверхность образцов шлифовали и полировали до величины шероховатости  $R_a=0,25$  мкм. На предметный стол подавали потенциал смещения в интервале от 0 до -200 В при осаждении покрытия. Общее давление рабочей газовой смеси (аргон + азот) в вакуумной камере равно 0,3 Па, парциальное давление азота – 0,06 Па, кислорода – 0,075 Па. Температура подложек при осаждении покрытий была 280°C.

Структурно-фазовый состав покрытия исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре «ДРОН-7», морфология поверхности методом РЭМ «LEO EVO 50», размеры формируемых фаз и

микрорентгеноспектральный элементный анализ с помощью ПЭМ «JEOM-2100». Износостойкость покрытий испытывали по схеме вал-колодка на «СМТ-1» при нагрузке 5 кг, 100 об/мин на воздухе.



Рис. 1. Схема нанесения многослойных покрытий

### 3. Результаты эксперимента и обсуждение

Методом рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии было установлено что фазовый состав представлен  $ZrO_2$  в нанокристаллическом состоянии и нитридом кремния в аморфно-кристаллическом состоянии (рис. 2) [5].

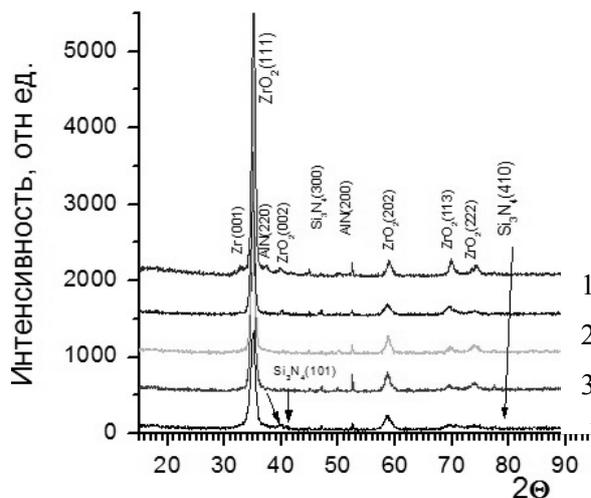


Рис. 2. Рентгенограммы многослойных покрытий систем Si-Al-N и Zr-Y-O осажденных импульсным ионно-магнетронным методом, где

цифры от 1 до 5 указывают на толщину слоев в покрытии: 1 – 5 мкм; 2 – 1 мкм; 3 – 0,5 мкм; 4 – 0,3 мкм; 5 – 0,15 мкм

При испытании на износостойкость системы «покрытие Si–Al–N – Zr–Y–O – подложка» с покрытиями толщиной 10 мкм, осажденных импульсным ионно-магнетронным методом была выявлена зависимость увеличения износостойкости с увеличением толщин слоев Si–Al–N и Zr–Y–O при их послойном осаждении и не изменой общей толщиной покрытия во всех испытываемых образцах.

Исследование адгезии покрытий Si–Al–N и Zr–Y–O к подложке с помощью нанотвердомера «NanoTest 600» показало увеличение значений с увеличением толщин слоев, однако значения микротвердости не дали прямой зависимости как при исследованиях на адгезию и износостойкость (таблица 1).

**Таблица 1.** Количества слоев в зависимости от толщины слоя.

№	Толщина слоев, мкм	Толщина покрытия, мкм	Количество слоев
1	0,15	10	67
2	0,30		34
3	0,50		20
4	1		10
5	2		5
6	5		2

Сопоставление полученных значений термомеханических характеристик для покрытий Si–Al–N и Zr–Y–O с приведенными выше данными о структурно-фазовом состоянии этих покрытий показывает, что их повышение достигает предельных значений при толщине слоев равных 1 мкм [3] и значения полученные при механических испытаниях приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Механические свойства покрытий.

№	dt/dm, сек/мг	f <sub>г</sub>	Адгезия, Н	Микротвердость, ГПа
1	9600±1430	0,11	21	23,6±1,1
2	8000±1380	0,13	23	14,5±0,4
3	12400±1750	0,11	24	26,7±0,8
4	16533±2440	0,11	29	18,3±0,3
5	14200±1800	0,14		
6	8320±1260	0,10		
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> +AN	4800±1060	0,43	25	17,3±0,9
ZrO <sub>2</sub>	1600±860	0,12	27	14,9±0,4

Таким образом, исследование термомеханических свойств системы «износостойкое покрытие – подложка» при испытаниях на износостойкость и термоциклическую стойкость показали, что эта величина исследованных покрытий определяется не только различием термических коэффициентов линейного расширения покрытия и подложки, но в значительной мере зависит от толщины слоев.

#### 4. Выводы

-Методом магнетронного нанесения получены многослойные покрытия на основе систем Si–Al–N – Zr–Y–O с высокими функциональными свойствами.

-Установлено, что покрытия представляют собой колумнарные нанозерна ZrO<sub>2</sub> и нанозерна, окруженные фазой, эквивалентной основному материалу на основе Si-Al-N

-Установлены оптимальные режимы магнетронного нанесения и ионной обработки покрытий, их структурно-фазовые характеристики, обеспечивающие достижение высоких значений термомеханических свойств

-Износостойкость многослойных покрытий в 2...3 раза лучше однослойных.

#### Литература:

1. Панин В.Е., Сергеев В.П., Ризаханов Р.Н., и др. Наноструктурирование покрытий – новый путь создания специальных материалов для улучшения характеристик изделий космической техники // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: Сборник статей по материалам Второй международной конференции. – Москва, 2007. – С. 357 – 359.
2. Нитрид кремния и материалы на его основе / под ред. Андриевский Р.А., Спивак И.И. М.: Металлургия, 1984. – 136 с.
3. Гнесин Г.Г. Бескислородные керамические материалы. – Киев.: Техніка, 1987. – С. 152.
4. Сергеев В.П., Яновский В.П., Параев Ю.Н. и др. Установка ионно-магнетронного напыления нанокристаллических покрытий (КВАНТ) // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. – Спец. выпуск. – Ч. 2. – С. 333–336.
5. Плешивцев Н.В. Катодное распыление. – М.: Атомиздат, 1968. – 343 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА РАСТВОРНОГО СВС

Новиков В.А., Амосов А.П.

Научный руководитель: Амосов А.П. д.ф-м.н., профессор  
Самарский государственный технический университет, 443100,  
Россия, г.Самара, ул. Молодогвардейская 244  
E-mail: [vladislav\\_novyi@mail.ru](mailto:vladislav_novyi@mail.ru)

За последние годы среди различных методов получения наноматериалов все большую популярность приобретает метод растворного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (метод растворного СВС). Данный метод является пригодным для синтеза гидроксиапатита (ГАП), который приобретает большую популярность в медицине. Благодаря высокой биосовместимости с тканями организма синтетический ГАП широко используется в данной области в виде биоматериалов. Можно выделить следующие виды материалов на основе ГАП:

- пористая керамика;
- беспористая керамика;
- порошки;
- керамические покрытия.

Пористая ГАП керамика используется только в качестве ненагруженных пористых костных трансплантатов. Плотная ГАП-керамика, по сравнению с пористой, обладает более высокими механическими свойствами. Однако ее использование в условиях нагрузки, например, в качестве искусственных суставов, ограничивается низкими ударной вязкостью и прочностью на изгиб. Кроме того, с точки зрения прорастания костной ткани плотная керамика хуже пористой. Согласно современной литературе, поры размером менее 10 мкм замедляют прорастание клеток, поры с размером 15 – 50 мкм способствуют образованию сосудисто-волокнистой ткани, поры размером 50 – 150 мкм определяют развитие остеонной ткани, а поры свыше 150 мкм способствуют образованию внутренних минерализованных тканей. Размер пор и пористость оказывают большое влияние на механические свойства ГАП-керамики, поэтому управление этими качествами очень важно как с точки зрения механических свойств, так и с точки зрения качества соединения имплантата с костной тканью.

Можно улучшить механические свойства ГАП-керамики, управляя такими важными свойствами порошковых прекурсоров, как размер и форма частиц, распределение частиц и их агломерация. Нанокристаллический ГАП имеет большую площадь поверхности. Это может улучшить спекаемость и уплотнение, снизить температуру спекания, что, возможно, приведет к повышению трещиностойкости ГАП-керамики. Кроме того наноразмерный ГАП обладает лучшей биоактивностью по сравнению с крупнокристаллическим; нанофазная керамика представляется уникальным и многообещающим материалом для изготовления ортопедических и зубных имплантатов с улучшен-

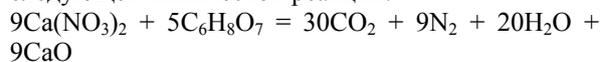
ными остеоинтегративными свойствами. Таким образом, для получения нанофазной керамики с улучшенными механическими и остеоинтегративными свойствами необходим нанокристаллический порошок гидроксиапатита. Для синтеза ГАП используется множество методов:

- твердофазные реакции;
- метод совместного осаждения (соосаждения);
- гидротермические реакции;
- золь-гель синтез;
- синтез в микроэмульсиях;
- механохимический синтез.
- метод растворного СВС

Метод растворного СВС предлагает смешивание кальций- и фосфорсодержащих прекурсоров на молекулярном уровне, что позволяет получить более высокую химическую однородность и низкую температуру образования гидроксиапатита по сравнению с традиционными методами.

Метод растворного СВС из лимоннокислых растворов – одна из разновидностей растворных СВС методов, не использующих алкоголяты, – эффективный метод синтеза наноразмерных неорганических порошков. Его привлекательной особенностью является возможность синтеза за один прием материалов, обладающих высокими чистотой, однородностью и площадью поверхности за счет высокой пористости. К преимуществам данного метода можно также отнести малый промежуток времени в течении которого происходит реакция сжигания.

Для синтеза нанокристаллического порошка гидроксиапатита из нитрата кальция, гидрофосфата аммония и лимонной кислоты в качестве горючего, использовался метод растворного СВС. В проведенных опытах гидроксиапатит получали по следующей химической реакции:



В проведенных нами экспериментах масса нитрата кальция оставалась постоянной, изменялась масса окислителя- лимонной кислоты, вид окислителя, и pH раствора.

В зависимости от условий проведения реакции были получены следующие результаты:

- а) реакционный раствор поместили в чашку и провели нагрев на электрической плитке

1) продукт реакции  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$  при использовании окислителя- лимонной кислоты

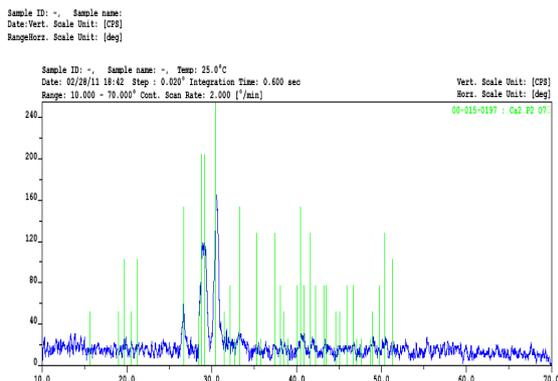


Рисунок 1-Рентгенограмма продукта реакции  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$

2) продукт реакции  $\text{CaHPO}_4$  при использовании окислителя- мочевины

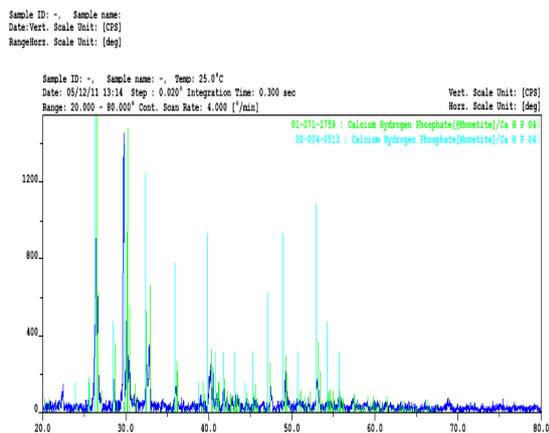


Рисунок 2-Рентгенограмма продукта реакции  $\text{CaHPO}_4$

3) продукт реакции  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{CaHPO}_4$  при использовании окислителя- лимонной кислоты, с добавлением азотной кислоты для поддержания pH баланса (pH=2-3).

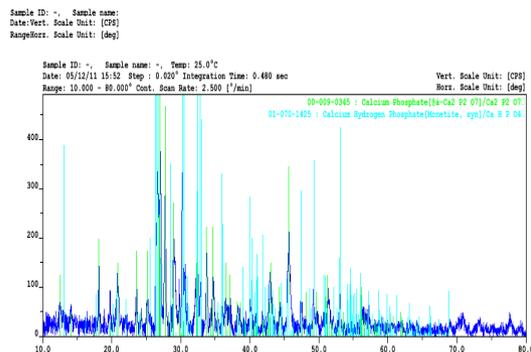


Рисунок 3-Рентгенограмма продукта реакции  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{CaHPO}_4$

Полученные результаты связаны с тем, что гидроксиапатит неустойчив при высоких температурах, и дальнейшие исследования в этой области связаны с подбором массовых отношений окислителя и восстановителя, и подбором pH среды реакции.

б) реакционный раствор поместили реакционный раствор поместили в чашку и провели нагрев в индукционной печи нагретой до температуры 600 °С. Испарение раствора и его горение происходило в печи.

Продукт реакции гидроксиапатит- при использовании окислителя- лимонной кислоты, с добавлением азотной кислоты для поддержания pH баланса (pH=2-3).

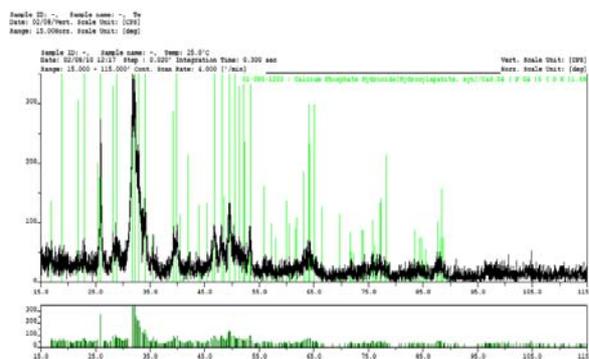


Рисунок 4-Рентгенограмма продукта реакции- аморфный ГАП

Полученный продукт (спек) оказался нанокристаллическим пористым материалом с аморфной структурой.

Перспектива данного исследования заключается в попытке нанесения гидроксиапатита, полученного методом растворного СВС, в качестве покрытия на металлические пористые материалы, что дало бы возможность приблизиться искусственным протезам по свойствам к человеческим костям.

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ДИОКСИДА ЦЕРИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Обходская Е.В.<sup>1,2</sup>, Сачков В.И.<sup>2</sup>, Сосновский С.А.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Буйновский А.С., д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Северский технологический институт – филиал ФГБОУ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Северск

<sup>2</sup>«Сибирский физико-технический институт Томского государственного университета», г. Томск

E-mail: [lenaobx@yandex.ru](mailto:lenaobx@yandex.ru)

В настоящее время на основе редкоземельных металлов (РЗМ) развиваются высокотехнологичные современные производства электронной и радиотехнической продукции, приборостроения, полупроводниковых материалов, используемых в ядерной энергетике, композиционных материалах. Российские предприятия используют в основном импортные РЗМ и их соединения. В частности, диоксид церия, объем использования которого в России свыше 60 %, поставляется из Китая и Казахстана [1].

Диоксид церия является самым эффективным многофункциональным порошком для полирования широкого класса оптических стекол, очковых линз, зеркал и других изделий из стекла, элементов электронной техники.

Наиболее широкое распространение для получения порошков получили способы плазмохимического синтеза, которые позволяют получать высокодисперсные материалы высокой чистоты, необходимого состава с равномерным распределением компонентов.

При проведении плазмохимического процесса не требуется применение химических реагентов для получения осадков, их отделения от маточников, исключаются трудоёмкие операции сушки, проковки, вследствие чего резко сокращается количество технологических переделов, не требуется переработка сбросных растворов, их объем сводится к минимуму и не превышает объема исходных растворов [2]. Кроме того, сбросные растворы могут быть возвращены для подготовки исходных растворов. Плазмохимический способ позволяет осуществить максимально быстрый переход обрабатываемого материала из жидкого состояния в твердое ( $10^{-3}$ – $10^{-1}$  с). Поэтому разработка плазмохимической технологии простых и сложных оксидов из растворов имеет ряд преимуществ перед традиционными технологиями.

В основу плазмохимической технологии дисперсного диоксида церия заложен процесс высокотемпературного разложения водного раствора нитрата церия  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ , в котором применяется распыление исходного раствора в поток газа–теплоносителя, нагретого до нескольких тысяч градусов в генераторе низкотемпературной плазмы (плазмотроне).

Плазмохимическая установка, на которой синтезировался порошок диоксида церия, состоит из высокочастотного генератора с блоком питания, плазмотрона, систем подачи сжатого воздуха и поджигающего газа, подачи водносолевого рас-

твора, батареи циклонов, системы очистки выхлопных газов, и компрессора. В плазмохимической установке использован высокочастотный индукционный плазмотрон. Плазмотрон состоит из водоохлаждаемого металлического корпуса; кварцевой трубы, которая снижает тепловые потери в разрядной зоне, а также исключает «закорачивание» канала ВЧ-разряда на металлический корпус плазмотрона, особенно в момент возбуждения и формирования ВЧ-разряда. Возбуждение ВЧ-разряда осуществляется с помощью медного стержня, который вводится в разрядную зону через отверстие в тефлоновом изоляторе. Для теплозащиты стенок камеры в конструкции плазмотрона применена вихревая стабилизация плазмы. Для этого к верхней части кварцевой трубы крепится секция подачи плазмообразующего газа с кольцом тангенциальной закрутки. В нижней части плазмотрона кварцевая труба выходит в секцию форсунок (секция подачи раствора), изготовленную из нержавеющей стали. Щелевые форсунки размером 2×4 мм обеспечивают подачу раствора в зону реакции. Размер капель в результате распыления составляет 50-100 мкм.

Под секциями форсунок, расположена зона реакции, представляющая собой охлаждаемый металлический корпус, изготовленный из нержавеющей стали, марки 12Х18Н10Т.

В плазмохимическом реакторе капельно-газовая смесь нагревается плазменной струей, генерируемой в плазмотроне, до температуры кипения. Вода интенсивно испаряется, солевой остаток разлагается до оксида церия.

Для контроля температуры вблизи реакционной зоны корпусу возможно подключение хромель-алюмелевой термопары, подключаемой к прибору КСП-4. Кроме того, для контроля температуры раствора до ввода его в зону реакции предусмотрены датчики температуры. Также контролируется температура отходящих газов, для предотвращения нежелательной конденсации (на выходе из зоны реакции). Для этого предусмотрен температурный датчик.

Образующийся порошок отделяется на фильтре и направляется в сборник порошков. Парогазовый поток, после охлаждения в холодильнике, освобождается от жидкости и перед сбросом в атмосферу подвергается санитарной очистке в скруббере.

В качестве исходного продукта при получении порошка диоксида церия применяли 6-ти водный раствор азотнокислого церия марки «ч». Для про-

ведения экспериментов приготавливались растворы нитрата церия концентрацией 20, 30, 50, 70, 90 и 100 г/л по содержанию церия.

Полученные в плазмохимической установке порошки диоксида церия подвергались анализу с целью определения структуры и размеров частиц порошка.

Средние размеры частиц порошка и их зерен определяли методом стереометрии; толщину дифракционного кольца – методом фотометрирования на денсиметре «МД – 100» (толщина принималась равной ширине профиля интенсивности на полувысоте пика).

В результате электронно-микроскопических исследований полученного диоксида церия установлено, что основными морфологическими составляющими порошка являются поликристаллические пустотелые сферы и их обломки – прозрачные поликристаллические пленки и частицы неправильной формы (рисунок 1). Средние размеры (диаметр) сфер составляют 0,77 мкм, зерен в них – 31 нм.

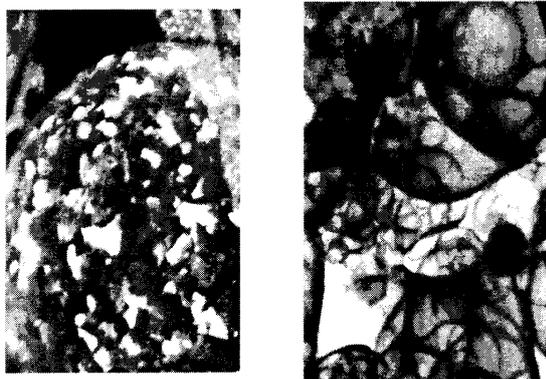


Рис. 1. Морфологическое строение плазмохимических порошков  $\text{CeO}_2$ .

Измеренные на денсиметре «МД – 100» размеры различных видов частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средний размер частиц порошка  $\text{CeO}_2$  в зависимости от концентрации исходного раствора.

Концентрация церия в растворе, г/л	Полые сферы, мкм	Поликристаллические прозрачные плёнки и частицы, мкм
20	0,3	0,7
30	0,4	0,8
50	0,6	1,0
70	0,7	1,1
90	0,8	1,2
100	1,0	1,2

Как видно из приведенных данных размеры полых сфер для исследованного диапазона концентраций укладываются в интервале 0,3 – 1,0

мкм, причем с увеличением концентрации церия в растворе размер частиц растет.

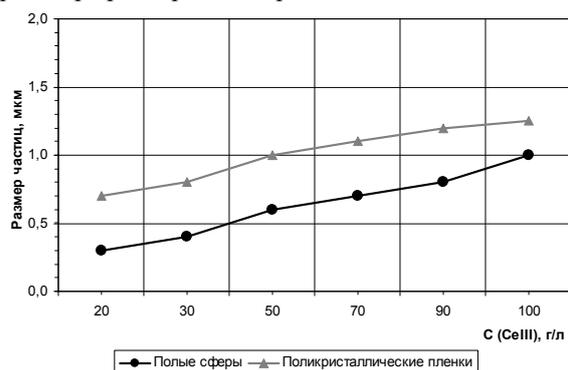


Рис. 2. Зависимость размера частиц  $\text{CeO}_2$  от концентрации церия в исходном растворе.

Удельную площадь поверхности порошков определяли по методике низкотемпературной адсорбции азота. Для порошка  $\text{CeO}_2$  она составляет  $46 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Таким образом, по результатам исследований можно сделать следующий основной вывод. Порошки диоксида церия, полученные плазмохимическим способом, представляют собой высокодисперсные материалы. Такие порошки диоксида церия приближаются к материалам, содержащим в структуре кристаллическую и аморфную составляющие. При этом показана возможность формирования как полых, так и наполненных сферических частиц. Установлены технологические возможности управления дисперсностью материала путем изменения концентрации исходного раствора нитрата церия.

*Работа выполнена в рамках ФЦП «Разработка, восстановление и организация производства стратегических, дефицитных и импортозамещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной и специальной техники на 2009-2011 годы и на период до 2015 года», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».*

#### Список литературы:

- Петров И.М. Тенденции и особенности потребления РЗМ в России // Сб. тезисов докладов 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы добычи, производства и применения РЗМ». – С.106-107.
- Дедов Н.В., Дорда Ф.А., Коробцев В.П., Кутявин Э.М., Соловьев А.И. Плазмохимический способ получения ультра- и тонкодисперсных порошков оксидов металлов и области их применения // Новые промышленные технологии. – 1994. - №1 (261). –с.38-42.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕТОВОГО РЕЖИМА В СЛОЕ ДИФФУЗНО РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

В. А. Овчинников

Научный руководитель: В. П. Ципилев, проф., д.ф. – м.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [vladislav\\_ovchin@mail.ru](mailto:vladislav_ovchin@mail.ru)

Численное решение уравнения переноса излучения для объема диффузно рассеивающей среды (ДРС) в случае ограниченных сред, требует приближений, которые резко ограничивают область применимости получаемых результатов. Такие расчеты также требуют от вычислительной аппаратуры огромной производительности вычислений с поддержкой операций удвоенной точности (в частности для многократного численного интегрирования приближенных дифференциальных выражений в случае многократного рассеяния). При снижении точности вычислений с целью получения результатов за приемлемое время (время выполнения задачи на кластере суперкомпьютера  $t \leq 30$  мин), выходная ошибка получаемых результатов в этом случае становится такой, что даже качественная оценка светового режима в некоторых ограниченных средах крайне трудна или невозможна.

Обходными путем для решения подобной проблемы может быть дальнейшее упрощение дифференциального уравнения и его аналитическое решение, но такие решения настолько приближены, что не могут быть использованы для оценки светового режима в объеме ДРС. Подобные пути полезны для нахождения инвариантов во внешних параметрах среды (коэффициенты диффузного отражения и пропускания, отношение показателей рассеяния и поглощения), например выражения из теории Кубелка-Мунки.

Однако в работах [1, 2] описывается численный метод Монте-Карло для расчета пространственного распределения освещенности в полубесконечном слое ДРС, который избавлен от подобных недостатков. При сравнительно небольшом числе выборок ( $10^4$ – $10^5$ ) метод способен адекватно описывать световой режим и для вычислений коэффициента диффузного отражения показывает хорошее соответствие со значениями, полученными путем численного интегрирования приближенных выражений переноса излучения [3]. В работах [1, 2] также описывается расчет пространственного распределения освещенности по глубине полубесконечного слоя (при освещении ДРС направленным световым пучком) где была обнаружена сложная особенность светового режима, выраженная в виде максимума увеличения освещенности на определенной глубине по отношению к освещенности слоя среды без рассеивателей. В [1, 2] приводятся различные кривые распределения относительного увеличения освещенности для полубесконечного слоя при различной ширине падаю-

щего пучка и различных показателях преломления среды.

Но знание светового режима для полубесконечного слоя ДРС является недостаточным, при анализе светового режима в слоях конечной толщины, для этого требуется расчет методом Монте-Карло для ограниченного объема ДРС, который является целью данной работы.

Ниже приводится расчет пространственного распределения освещенности по глубине слоя ДРС конечной толщины который представлен на рисунке 1 в виде кривых распределения относительного увеличения освещенности  $f$  по глубине для слоев ДРС различной толщины, при падении на поверхность направленного широкого пучка света единичной освещенности.

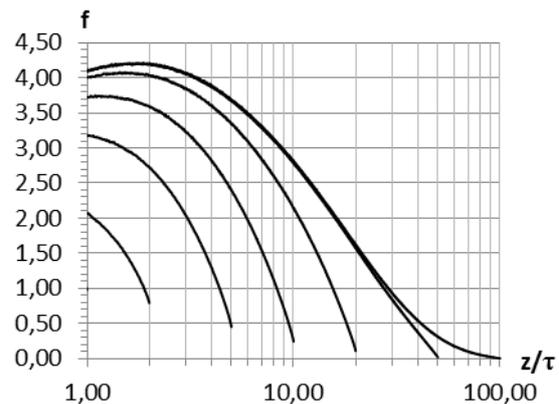


Рис. 1. Распределение относительного увеличения освещенности по глубине слоев ДРС конечной толщины при показателе преломления  $N = 1,0$  ( $z$  – глубина [см],  $\tau = 1/(\mu + \beta)$  – средняя длина свободного пробега фотонов, где  $\mu$  – показатель поглощения [ $\text{см}^{-1}$ ],  $\beta$  – показатель рассеяния [ $\text{см}^{-1}$ ]). Обрывы кривых на определенных глубинах соответствуют разным толщинам слоев

Как видно, для всех слоев, показанных на графике, наблюдается увеличение освещенности с выраженным максимумом освещенности для более толстых слоев ( $d > 10,0\tau$ ), что полностью согласуется с результатами, приведенными в [1, 2].

На рис. 2 приводятся кривые для ДРС с показателем преломления  $N = 1,5$ . Заметим что даже при слоях средней толщины  $d = 1\tau$  (рис. 2) наблюдается пятикратное увеличение освещенности, что, несомненно, вызывает интерес, поскольку большая часть потока проходит сквозь слой (см. рис. 4)

Максимум распределения при  $N = 2,0$  размывается на фоне общего увеличения освещенности, вследствие полного внутреннего отражения.

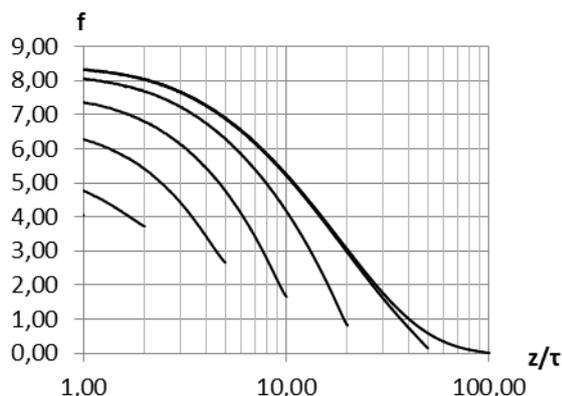


Рис. 2. Распределение относительного увеличения освещенности по глубине слоев ДРС конечной толщины при показателе преломления  $N = 1,5$

Также нами были рассчитаны зависимости коэффициентов диффузного отражения и пропускания от параметров  $g$  и  $\Lambda$  (рис. 3, рис. 4)

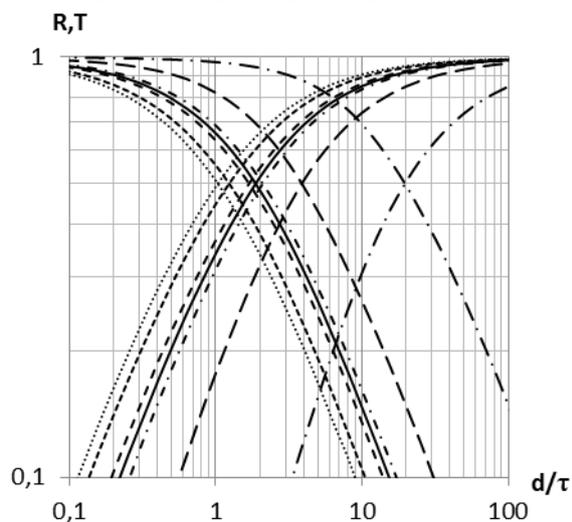


Рис. 3. Зависимости коэффициента диффузного отражения и пропускания от параметра вытянутости индикатрисы рассеяния  $g$  (в фазовой функции Хензи Гринштейна в качестве индикатрисы)

Как видно на графиках на рис. 3, представленных в полном логарифмическом масштабе, кривые соответствующие различным параметрам  $g$  идут примерно параллельно, что говорит о линейной связи графиков с различными  $g$ .

Таким образом, при имитационном моделировании методом Монте-Карло светового режима слоя ДРС конечной толщины, также как и для полубесконечного слоя наблюдается увеличение освещенности, и при сравнительно небольших толщинах слоев ( $d \sim 1\tau$ ).

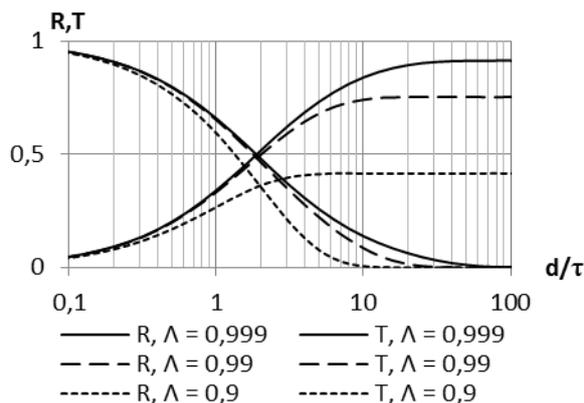


Рис. 4. Зависимости коэффициента диффузного отражения и пропускания от выживаемости  $\Lambda$

Зависимости коэффициентов отражения и пропускания в полном логарифмическом масштабе выглядят как параллельные линии, свидетельствующие о том, что параметр  $g$  с некоторым приближением определяет характерный объем, который выражает линейную связь между масштабами пространственного распределения освещенности по глубине ДРС для различных параметров  $g$ , найденный инвариант используется в теории Кубелка Мунки. Полученные зависимости  $R(d)$ ,  $T(d)$  могут быть использованы для экспериментальных измерений (косвенным путем) среднего значения длины свободного пробега и показателя вытянутости индикатрисы  $g$ .

Программа для расчета методом Монте-Карло светового режима для слоя ДРС конечной толщины была написана в среде Microsoft Visual Studio 2010 с привлечением массивно параллельных технологий на базе архитектуры CUDA.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Е. И. Александров, А. Г. Вознюк, В. П. Ципилев. Влияние поглощающих примесей на зажигание ВВ лазерным излучением // ФГВ. — 1989. — Т. 26, № 1. — с. 3–9.
2. Е. И. Александров, В. П. Ципилев. Особенности светового режима в объеме полубесконечного слоя ДРС при освещении направленным пучком конечной апертуры // Известия вузов. Физика. — 1988. — Т. 31, № 10. — с. 23–29.
3. R. G. Giovanelli Reflection by Semi-infinite Diffusers // Optica Acta: International Journal of Optics, 1955, Vol. 2, no. 4, pp. 153 – 162.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПОЛУБЕСКОНЕЧНОМ СЛОЕ ДИФфуЗНО РАССЕЙВАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В. А. Овчинников

Научный руководитель: В. П. Ципилев, проф., д.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [vladislav\\_ovchin@mail.ru](mailto:vladislav_ovchin@mail.ru)

В области исследования порогов лазерного инициирования порошкообразных взрывчатых веществ (ВВ) необходимо знание особенностей светового режима в объеме диффузно-рассеивающей среды (ДРС) с плотной упаковкой рассеивателей при облучении направленным световым пучком [1]. С этой целью в данной работе был использован метод Монте-Карло, описанный в работах [1, 2], для численных расчетов пространственного распределения освещенности по глубине полубесконечного слоя ДРС.

Метод Монте-Карло относится к классу стохастических методов пригодных для решения многочастичных задач и в своей основе использует алгоритм генерации случайных последовательностей. Для имитации поведения частиц метод использует случайные последовательности с таким распределением плотности вероятности, чтобы связь между средними значениями получаемых случайных величин и реальными физическими величинами была как можно проще. Одним из недостатков используемого авторами [1, 2] метода Монте-Карло является низкая сходимость результатов расчета с точным решением, и для уменьшения дисперсии выходных величин требуется, в случае задачи светорассеяния до  $10^6$  выборок, авторами же работы [1, 2] общее число выборок или моделируемых фотонов составляло  $10^4-10^5$ .

В данной работе программа расчета методом Монте-Карло написана с привлечением массивно параллельных вычислений, и при допустимых временах расчета (5–15 мин) общее число выборок можно варьировать в пределах  $10^6-10^{11}$ . Для проверки правильности метода нами использовалось сравнение результатов расчета коэффициента диффузного отражения  $\rho$  от полубесконечного слоя с результатами аналитических расчетов [3] (см. табл. 1). По сравнению с другими расчетами: двух поточное приближение, метод прогонки уравнения переноса излучения, а также точный аналитический расчет в рамках модели однократного рассеяния, метод показывает хорошее соответствие.

Таблица 1. Коэффициенты диффузного отражения, полученные для полубесконечной среды методом Монте-Карло (МК) и приближенным методом на основе численного решения уравнения переноса излучения (УП)

$\Lambda$	$\rho$ (УП)	$\rho$ (МК)
0,999	0,91285	0,91278
0,99	0,75275	0,75279
0,9	0,41495	0,41512

0,8	0,28526	0,28532
0,7	0,20867	0,2086
0,6	0,15541	0,1553

На рис. 1 приведено распределение пространственной освещенности по глубине полубесконечного слоя ДРС для выживаемости  $\Lambda = 0,9995$  при различной ширине пучка и при разных показателях преломления (рис. 1), где по оси  $z$  отложена относительная глубина слоя, измеряемая в длинах среднего свободного пробега  $\tau = 1/(\mu + \beta)$  (где  $\beta$  – показатель рассеяния,  $\mu$  – показатель поглощения).

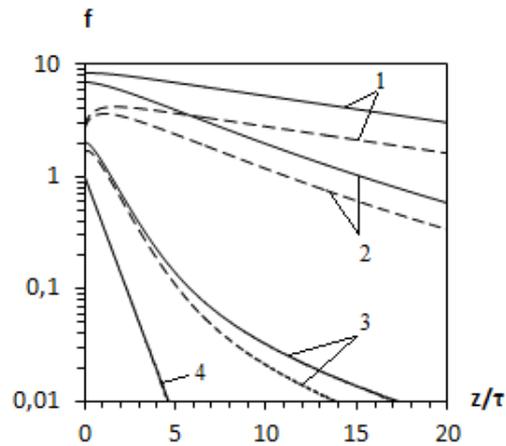


Рис. 1. Распределение относительного увеличения освещенности  $f$  по глубине ДРС при различных показателях преломления  $N$  и диаметрах пучков  $d_n$  (пунктирные кривые соответствуют  $N = 1,0$ , сплошные —  $N = 1,5$ ; 1 —  $d_n = 10\tau$ ; 2 —  $d_n = 1\tau$ ; 3 —  $0,1\tau$ ; 4 —  $d_n = 0,01\tau$ )

Обращает на себя внимание тот факт, что пространственная освещенность в глубине ДРС значительно превышает поверхностную, задаваемую падающим пучком. В целом это подтверждает результаты [1, 2, 4], однако нами выявлены особенности в распределении света по глубине образца.

Как видно на графиках (рис. 1) в распределении присутствует сложная особенность светового режима, выраженная в виде максимума освещенности на определенной глубине, что никак не может согласовываться с моделью однократного рассеяния. С увеличением показателя преломления ярко выраженный максимум освещенности постепенно пропадает на фоне общего увеличения освещенности вследствие полного внутреннего отражения лучей выходящих из объема ДРС, также по этой же причине уменьшается коэффициент диффузного отражения (рис. 2). Выраженный максимум и общее увеличение освещенности стано-

вится меньше и пропадает с уменьшением ширины пучка, что свидетельствует о том, что при прохождении светом некоторого расстояния в ДРС до максимума освещенности (четко выраженном на рис. 1, пунктирная кривая 2) увеличения освещенности не происходит из-за слишком большого затухания вследствие отклонения хода лучей (ослабления).

Все графики на рисунке 1 представлены в относительных координатах и являются безразмерными величинами, для перехода к размерным величинам требуется знание характеристической величины  $\tau$  (средняя длина свободного пробега фотонов) и освещенности на поверхности, что является актуальной задачей для связывания результатов расчета с экспериментом. С этой целью была выявлена связь между коэффициентом диффузного отражения и выживаемости фотонов  $\Lambda = \beta/(\mu+\beta)$  полубесконечного слоя, при различных показателях преломления среды (рис. 2).

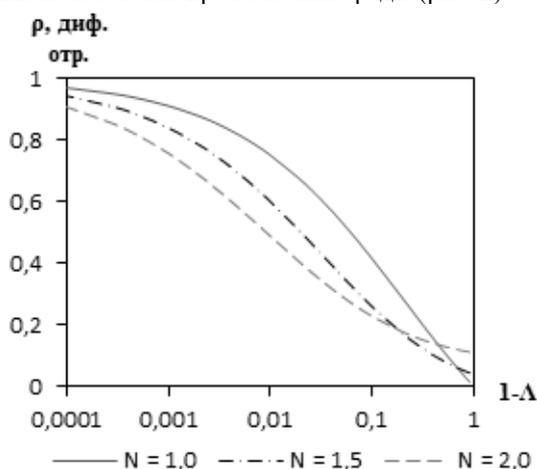


Рис. 2 Зависимость коэффициента диффузного отражения от выживаемости  $\Lambda$

Как видно из этих графиков кривые зависимости монотонно убывают от  $\rho = 1$  в точке  $\Lambda \rightarrow 1$  и  $\rho = 0$  в точке  $\Lambda \rightarrow 0$ . Это объясняется тем, что случайные блуждания фотонов в объеме ДРС при выживаемости равной единице в конечном итоге приведут к выходу этих фотонов из среды, и лишь стремящееся к нулю число фотонов будет бесконечно блуждать в объеме полубесконечного слоя. При уменьшении выживаемости коэффициент диффузного отражения также уменьшается и становится равным нулю, говоря о том, что все меньшее число фотонов, проходя характерные расстояния в полубесконечном слое, будут возвращаться обратно через границу раздела двух сред из-за все более высокой вероятности «погибнуть» в объеме ДРС. Общее увеличение коэффициента диффузного отражения с увеличением показателя преломления как уже объяснялось выше связано с полным внутренним отражением на границе слоя ДРС. Представленные кривые показывают взаимно однозначную связь выживаемости и

коэффициента диффузного отражения, что может быть использовано для связывания расчетных параметров рассеяния и поглощения элементарного объема ДРС с экспериментальными параметрами и данными.

Таким образом, на световой режим в объеме полубесконечного слоя ДРС сильно оказывает влияние относительная прозрачность, определяемая коэффициентом выживаемости  $\Lambda$ , и при  $\Lambda \rightarrow 1$  распределение относительной освещенности не может быть описано в рамках модели однократного рассеяния. В объеме полубесконечного слоя ДРС создается световой режим с максимумом освещенности, который постепенно размывается при высоких показателях преломления за счет полного внутреннего отражения. Наблюдается общее увеличение освещенности в зависимости от показателя преломления и как видно из рис. 1 при  $N = 1,0$  относительное увеличение освещенности  $f = 4,2$ , при  $N = 1,5$  увеличение освещенности  $f = 8,5$  и при  $N = 2,0$  увеличение освещенности  $f = 14,5$ . При узких пучках ( $d_p < 0,1\tau$ ) падающего излучения, увеличение освещенности не происходит.

Программа для выполнения расчетов методом Монте-Карло была написана в интегрированной среде для разработки приложений (IDE) Microsoft Visual Studio 2010 и с использованием программно аппаратных средств универсальной расчетно ориентированной среды (CUDA) для выполнения массивно параллельных вычислений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е. И. Александров, А. Г. Вознюк, В. П. Ципилев. Влияние поглощающих примесей на зажигание ВВ лазерным излучением // ФГВ. — 1989. — Т. 26, № 1. — с. 3–9.
2. Е. И. Александров, В. П. Ципилев. Особенности светового режима в объеме полубесконечного слоя ДРС при освещении направленным пучком конечной апертуры // Известия вузов. Физика. — 1988. — Т. 31, № 10. — с. 23–29.
3. R. G. Giovanelli Reflection by Semi-infinite Diffusers // Optica Acta: International Journal of Optics, 1955, Vol. 2, no. 4, pp. 153 – 162.
4. Карабутов А. А., Пеливанов И. П., Подымова Н. Б., Скипетров С. Е. Прямое измерение пространственного распределения интенсивности света в рассеивающей среде // Письма в ЖЭТФ. — 1999. — Т. 70, № 3. — с. 187–192.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИКИ КАРБИДА БОРА ПРИ ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Омаров Г.Ж., Саенко Л.В., Хасанов А.О.

Научные руководители: Бикбаева З.Г., Полисадова В.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [omarov\\_gani@mail.ru](mailto:omarov_gani@mail.ru)

Целью данной работы является исследование разрушения поверхности образцов керамики карбида бора при локальных нагрузках методом индентирования.

Разработка базовых технологий изготовления броневых конструкций на основе керамики из карбида бора является одним из основных направлений совершенствования средств индивидуальной и коллективной бронезащиты, позволяющей существенно повысить уровень защитных и эксплуатационных свойств перспективных изделий при снижении массы броневых блоков от 30 до 60 % в сравнении с аналогичными конструкциями из броневой стали. При этом важной задачей является изучение процессов деформирования и разрушения керамик, используемых для создания бронезащиты.

Анализ зоны разрушения является комплексной проблемой механики деформируемого тела. Для сверхтвёрдых керамик, в частности  $V_4C$ , представляет интерес изучение разнообразных аспектов деформирования поверхности и разрушения образца при действии нагрузок.

Обычно при индентировании поверхности образцов пирамидой Виккерса при определении трещиностойкости наблюдается отпечаток в виде четырехгранника с трещинами, исходящими из углов отпечатка.

В ряде случаев наблюдается сложная картина деформирования и разрушения поверхности образцов, сопровождаемая образованием между радиальными трещинами четко выраженных областей разрушения (сколов или отслоений материала). Картины локального разрушения в виде сколов и вспучиваний материала наблюдали на поверхности монокристаллов корунда в работе [1] (при 1,92 Н) и в керамике  $TiB_2$  (при 98 Н) [2].

Анализ индентирования, по мнению авторов работы [3], не может быть ограничен лишь исследованием размера отпечатка от величины нагрузки на индентор. Необходимо также изучить развитие процесса хрупкой повреждаемости в районе отпечатка.

Для исследования были использованы образцы керамики  $V_4C$ , полученные SPS - синтезом.

Образцы керамики  $V_4C_{mix}$  спекали в плазме ионного разряда (Spark Plasma Sintering (SPS-метод)) на установке SPS 515S (SPS SYNTEX INC) в Нано-Центре ТПУ из промышленного порошка карбида бора марки М-5-П со средним размером частиц 3...5 мкм с добавлением 10 мас.% субмикронного порошка карбида бора (средний размер

частиц 0,43 мкм), полученного измельчением в пневмоциркуляционном аппарате [4].

Технологические режимы SPS-спекания керамики  $V_4C_{mix}$  представлены в таблице 1.

Измерения микротвердости и трещиностойкости проводили на микротвердомере Micromet при нагрузках  $P$ , равных 9,8...11,77 Н и твердомере ТП-7Р-1 при нагрузках 49...294,3 Н.

Локальные разрушения поверхности керамики карбида бора наблюдали у грани отпечатка индентора при нагрузках,  $F$ , начиная от 11,77 Н до 196,2 Н (рис. 1 для  $F = 49...196$  Н) в виде областей, напоминающих «лепестки», между радиальными трещинами, распространяющимися из углов отпечатка.

Таблица 1. Технологические режимы SPS-спекания керамики  $V_4C_{mix}$  и свойства полученных образцов

$T_{cn}, ^\circ C$	$P_{np},$ МПа	$H_V,$ ГПа	$\rho,$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{отн}, \%$
1850	30	22,5	2,17	86,0
	60	23,7	2,24	88,7
	90	24,8	2,38	94,8
1950	30	32,5	2,45	97,1
	60	35,6	2,49	98,5
	90	42,2	2,48	98,3
2050	30	38,1	2,45	97,2
	60	41,4	2,46	97,6
	90	47,9	2,47	98,0

Примечание: Температура спекания – ( $T_{cn}$ ), давление подпрессовки – ( $P_{np}$ ),  $H_V$ -микротвердость образца,  $\rho$  – плотность образца,  $\rho_{теор} = 2,52$  г/см<sup>3</sup>

Как видно из рис.1, указанные области локального разрушения имеют разнообразные формы и размеры, например, максимальный размер «лепестка» (рис. 1, б) составляет до 350 мкм.

Анализ методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показал, что разрушение керамики носит хрупко-пластичный характер. Под индентором наблюдается фрагментирование материала (рис. 2, а, б). В зоне скола поверхность разрушения неоднородная. Картина разрушения проявляется лишь через некоторое время (секунды) после снятия нагрузки индентирования.

Под индентором были видны фрагменты разрушения: зёрна и другие мелкие элементы. По полученным изображениям можно оценить: характер скола, глубину откольного слоя (от 10 до 20 мкм на исследованных образцах).

По рис. 1, в можно проследить эволюцию разрушения: видно, что сначала скалывается поверхность (верхний «лепесток», на котором видны по-

ры недеформированного материала), в дальнейшем происходит их откалывание (тёмные «лепестки»). Описанная картина разрушения поверхности наблюдается на образцах с  $\rho_{отн} > 95\%$ . На образцах с  $\rho_{отн} < 95\%$  (см. таблицу 1: режимы  $T_{сн} = 1850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в ходе индентирования даже при  $P = 294\text{ Н}$  сложных картин разрушения не наблюдали.

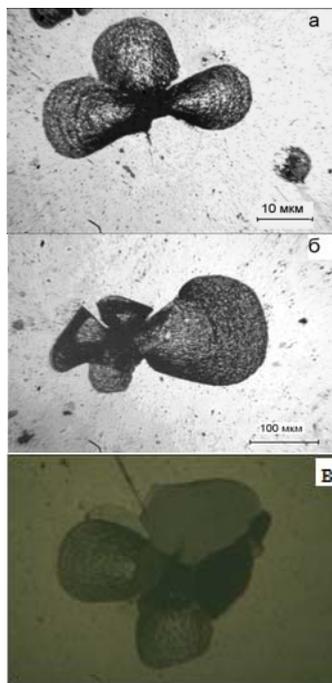


Рис.1. Характер локального разрушения поверхности керамики  $V_4C$  изготовленной при  $T_{сн} = 1950^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{сн} = 10$  мин: а), б)  $P_{np} = 90$  МПа, в)  $P_{np} = 60$  МПа; Нагрузка индентирования: а)  $F = 49\text{ Н}$ , б)  $F = 98,1\text{ Н}$ , в)  $F = 196\text{ Н}$

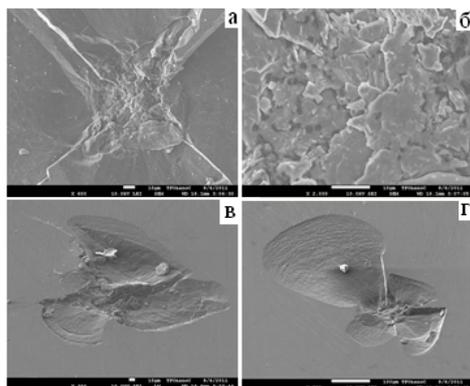


Рис.2. Изображение отпечатка индентора (а, б) и поверхности разрушения керамики  $(V_4C)_{mix}$  (в, г), полученные методом СЭМ.

При локальном нагружении образуется сложная система трещин: радиальные и подповерхностные (наклонные и горизонтальные), участвующие

в образовании контуров сколов, причем предполагается, что в образовании скола участвуют обычно три трещины: две вертикальные (радиальные) и наклонные

#### Выводы.

Метод индентирования совместно с методами СЭМ и атомно-силовой микроскопии позволяет оценить особенности разрушения керамики  $V_4C$  при статическом сосредоточенном нагружении: нагрузки, при которых образуются области разрушения поверхности образца, профиль образовавшегося скола.

Установлено, что области разрушения с определенной вероятностью могут возникать через некоторое время (несколько секунд) после снятия нагрузки индентирования.

Характер разрушения определяется технологическими режимами SPS – спекания керамики, определяющими плотности спеченных керамики.

В исследованных керамиках области разрушения при индентировании образуются в образцах с высокой относительной плотностью, большей 95% (см. таблицу).

Определены нагрузки индентирования, при которых появляются области разрушения: для  $V_4C_{mix} - F \geq 11,77\text{ Н}$ .

*Работа выполнена в рамках научно-образовательного проекта по Постановлению Правительства РФ № 218 по госконтракту № 13.G.25.31.0021 (18-247/10).*

#### Список литературы:

1. Носов Ю. Г., Деркаченко Л. И. Последствие при испытании корунда на микротвердость // Журнал техн. физ. – 2003. – Т. 72. – Вып. 10. – С. 14-39.
2. Akio Yonezu, Baoxing Xu, Xi Chen. Indentation induced lateral crack in ceramics with surface hardening // Materials Science and Engineering A. – 2009. – V. 507. – P. 226- 235.
3. Бердиков В. Ф., Богомолов Н.И., Бабанин А.В., Катрич М.Д. Основные закономерности упругопластического деформирования и хрупкого разрушения высокотвёрдых хрупких материалов при микровдавливании и царапании пирамидальными алмазными наконечниками // В сб.: Новое в области испытаний на микротвёрдость. М.: Наука, 1974. – С.119-124.
4. Белов Н.Н., Бирюков Ю. А., Росляк А.Т., Югов. Н. Т., Афанасьева С.А. Механизмы измельчения частиц при получении субмикронных порошков тугоплавких соединений в пневмоциркулярном аппарате // Доклады Академии наук. – 2004. – Т.397. – С. 337-341.

## УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ (TiAlSi)N, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ ИЗ СВС-ПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ

Карпов Н.А., Орлов И.И.

Научный руководитель: Лавро В.Н., доцент  
Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара,  
Молодогвардейская, 244, главный корпус

E-mail: [Morgan-63@yandex.ru](mailto:Morgan-63@yandex.ru)

Ионно-плазменные покрытия применяются для защиты поверхностей, подвергающихся воздействию высоких температур, агрессивных сред и износа. Эти покрытия представляют собой материал на основе тугоплавких соединений переходных металлов и, прежде всего, титана. Для получения нанокompозитных ионно-плазменных покрытий, которые по своим физико-механическим свойствам превосходят традиционные покрытия, использовали специально разработанные в СамГТУ катоды, изготовленные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с целью повышения эксплуатационных свойств изделий. Катодным материалом является система Ti-C с добавлением металлических и неметаллических компонентов.

Конструктивно СВС-прессованный катод для установки «Юнион» представляет собой многослойное функционально-градиентное изделие и состоит из металлического основания и трех слоев продуктов СВС: рабочего слоя, промежуточного слоя и СВС-припоя (рисунок 1). Рабочий слой является собственно многокомпонентным испаряемым материалом, СВС-припой обеспечивает соединение продуктов синтеза с металлическим основанием, промежуточный слой имеет повышенную пластичность и соединяет рабочий слой и СВС-припой.

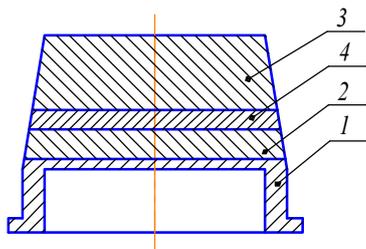


Рис. 1. Конструкция четырехслойного СВС-прессованного катода:

1 – металлическое основание; 2 – СВС-припой;  
3 – рабочий слой; 4 – промежуточный слой

В зависимости от массы рабочего слоя  $m_{PC}$  условно определены три типа СВС-прессованных катодов: малогабаритные с  $m_{PC} = 70 \div 80$  г, среднегабаритные с  $m_{PC} = 100$  г и полногабаритные с  $m_{PC} = 200$  г.

При работе испарителя (всех исследуемых катодных составов) образование катодных пятен, скорость их перемещения, траектория движения, яркость свечения отдельных областей имеет характерную особенность, которая не характерна для катодов из чистых материалов. Наиболее часто образуется спиралеобразный и кольцевой вид

траектории перемещения катодных пятен по поверхности катода (рисунок 2). Данный эффект образования и движения катодных пятен получен впервые в лаборатории «Вакуум-синтез» СамГТУ при исследовании катодных составов.

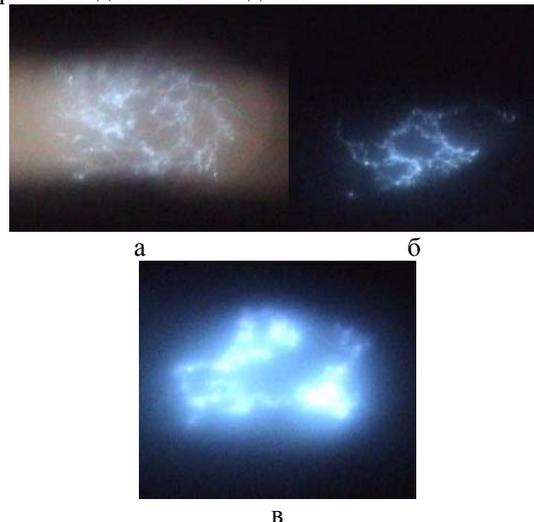


Рис. 2 Фотографии образования катодных пятен:

а – СВС-катод состава  $TiC_{0,5}+25\%(Al+20\%Si)$ , ионная очистка в аргоне ( $p = 2,7 \cdot 10^{-2}$  Па)

б – СВС-катод состава  $TiC_{0,5}+25\%(Al+20\%Si)$ , осаждение покрытий в азоте ( $p = 6,6 \cdot 10^{-1}$  Па)

в - Катод ВТ1-00, осаждение покрытия в азоте ( $p = 1,3 \cdot 10^{-3}$  Па)

Упрочнение фрез из твердого сплава ВК8 (рисунок 3) выполняли на модернизированной установке плазменного напыления «Юнион». Для получения ионно-плазменного покрытия (TiAlSi)N использовали катоды состава  $TiC_{0,5} - 25\%Al - 3\%Si$ .

Технология упрочнения фрез ионно-плазменными покрытиями сложного состава включала 3 этапа:

1. Низкотемпературная газовая очистка поверхности упрочняемого инструмента с использованием специализированного модуля «Плагус» по следующим режимам: Напряжение разряда  $U_p=400$  (В); ток разряда,  $I_p=1,4$  (А); ток накала эмиттера  $I_{т.н.}=23$  (А); давление газа (аргон)  $P_{Ar}=2 \cdot 10^{-4}$  мм.рт.ст.; время очистки  $\tau=10$  мин.

2. Ионная очистка (ионами распыляемого материала): Ток дуги испарителя  $I_d=130$ (А); остаточное давление  $P_{ост}=1 \cdot 10^{-4}$  мм.рт.ст.; температура изделия  $T_{изд}=600$  °С; время очистки  $\tau=10$  мин.

3. Конденсация покрытия (TiAlSi)N: опорное напряжение  $U_{оп}=100$  (В); давление газа (азот)  $P_{N_2}=5 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст.; время конденсации  $\tau=30$  мин.

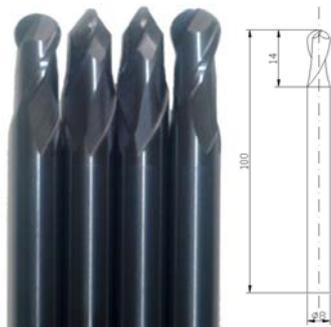


Рис. 3 Фрезы из твердого сплава BK8 с покрытием (TiAlSi)N

В данной работе проведена оценка качества покрытия (TiAlSi)N методами микрорентгеноспектрального анализа, нанотвердости и трибологических испытаний.

1. Толщина покрытий определялась методом поперечного шлифа на растровом электронном микроскопе Jeol JSM 6390A. Характер излома покрытия имеет гладкую поверхность, которая характерна для хрупких материалов. Толщина полученного покрытия составила 1,25 мкм.

2. Исследование нанотвердости покрытия проводилось пирамидой Берковича на нанотвердомере Agilent Technologies G200 Nano Indenter (США). Значение твердости и модуля упругости получали из кривых «нагрузка-разгрузка» по методике Оливера-Фарра.

На рисунке 4 представлена зависимость величины нанотвердости  $H$  от глубины индентирования.

Результаты исследования показали: Твердость  $H=64 \div 67$  (ГПа); модуль упругости  $E=520 \div 550$  (ГПа);  $H/E=0,121 \div 0,123$ ;  $H^3/E^2=0,969 \div 0,994$ ; Упругое восстановление  $W_e=64$  %.

3. Изучение характеристик трения и износа осуществляли на машине трения, изготовленной на базе вертикально-сверлильного станка ГС 2112 по схеме "шарик-диск" при нагрузке 15 Н.

На рисунке 5 представлены зависимости силы трения и нормальной нагрузки на контртело от времени для рассматриваемого покрытия, полученные при обработке экспериментальных данных программы «Power Graph 3.0». Образование первых очагов износа характеризуется резким увеличением силы трения и для этого момента фиксировалось предельное время работы покрытия  $t_{пр}$ .

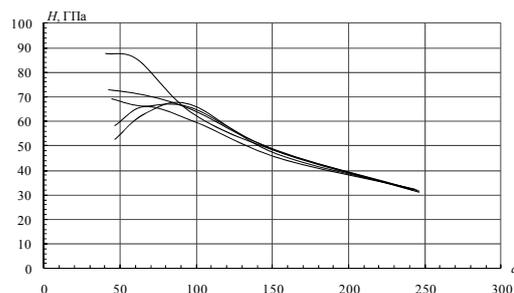


Рис. 4 Зависимость величины нанотвердости  $H$  от глубины индентирования  $d$

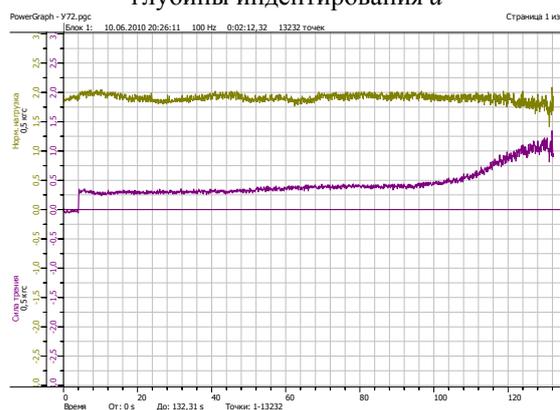


Рис. 5 Зависимости силы трения и нормальной нагрузки на контртело от времени для покрытия (TiAlSi)N

Результаты обработки экспериментальных данных показали:  $f_{тр}=0,16-0,4$ ;  $K_u=0,45$ ;  $t_{пр}=1,8$  мин.;  $\gamma=5,1$  мкм/час.

Опытно-промышленные испытания фрез проводились на станке типа MCV-500 при обработке заготовок электродов из сплава ВМ-15. Износ фрезы наблюдали относительно съема медно-вольфрамовой стружки с заготовки. Оценка износостойкости велась относительно машинного времени работы фрезы в минутах.

Данные по сравнению стойкости фрезы с покрытием и без него:

Машинное время фрезы:

1. без покрытия 100 мин.;
2. с покрытием напыленном на заводе Волгабурмаш 250-350 мин.;
3. с покрытием СамГТУ 1000, 550, 600 мин.

Средняя износостойкость фрез составила 717 мин.

Результаты исследования показали, что покрытие (TiAlSi)N можно отнести к аморфно-нанокристаллическому материалу с отношением  $H/E > 0,10$ . Покрытие обладает высокой твердостью, которая соответствует порогу твердости для нанокристаллического состояния.

Испытуемое покрытие позволяет значительно повысить ресурс работы фрез, используемых для обработки медно-вольфрамовых электродов без переналадок и заточек отработанных фрез.

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НАНОПОРОШКА НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3-ZrO_2$

Петрова О.В., Задорожная О.Ю., Гайдайчук Е.В.

Научный руководитель: Хабас Т.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [pod\\_krilishko@sibmail.com](mailto:pod_krilishko@sibmail.com)

Керамические материалы на основе диоксида циркония превосходят многие другие по прочностным характеристикам. Но, с экономической точки зрения, перспективным является направление развития группы материалов на основе композиций диоксида циркония с другими оксидами. Чаще всего для этого применяется оксид алюминия [1].

Одним из наиболее перспективных направлений является создание прочных конструкционных керамик для широкого спектра применения с энергонапряженными условиями эксплуатации. Применение нанопорошков перспективно для улучшения физико-механические и обжиговые свойства керамики. Это позволит создавать изделия с многократно увеличенным ресурсом работы [2].

Цели и задачи работы направлены на получение плотной керамики состава  $ZrO_2-Al_2O_3$ , исследование влияния добавок нанопорошков одноименных оксидов и механической активации на обжиговые свойства получаемой керамики.

В исследованиях использовался порошок  $Al_2O_3$  ( $\alpha$ -фаза) и порошок  $ZrO_2$ , частично стабилизированный  $Y_2O_3$ . Порошки в исходном состоянии имеют недостаточно высокую дисперсность. Большая масса частиц оксида алюминия хорошо окристаллизована, их размер достигает 100-250 мкм (рис.1). Исходный диоксид циркония представляет собой очень крупные плотные агрегаты, размер которых приближается к 300 мкм (рис.2). Спекание смесей, приготовленных из этих порошков, не дает возможности получения относительной плотности керамики выше 93-94%. Обработка в планетарной мельнице увеличила площадь удельной поверхности оксида алюминия по данным БЭТ на 12 %, диоксида циркония – более, чем в три раза. Полученный результат измельчения соответствует характеру исходных частиц. Плотность спеченных образцов при температуре 1600-1650°C достигла 96% от теоретической.

Возможность дальнейшего повышения плотности спеченной керамики из данных материалов просматривается в применении спекающих добавок. В состав композиции вводились наноразмерные порошки диоксида циркония (рис.3) и оксида алюминия. Применение таких добавок перспективно для получения керамических материалов без посторонних примесей. Спекающие добавки в виде нанопорошков различались по величине удельной поверхности ( $Al_2O_3$  - 20,766 м<sup>2</sup>/г и  $ZrO_2$  - 16,658 м<sup>2</sup>/г).

Ранее установлено, что содержание спекающих наноразмерных оксидных добавок - 2-3 мас.% нанопорошка  $Al_2O_3$  или 05 - 1,0 мас.%  $ZrO_2$  - опти-

мально при введении в исходные сырьевые смеси [3]. Однако большее количество добавок нанопорошков не дает повышения плотности без предварительной обработки шихты. В качестве метода воздействия на свойства спекаемой порошковой композиции с большим количеством наносоставляющей был выбран метод механической активации в планетарной мельнице АПФ-3.

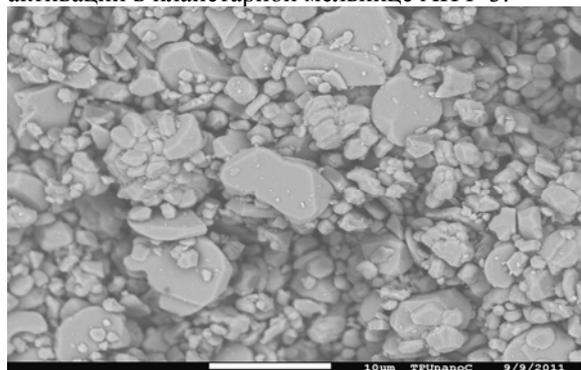


Рис. 1. Микрофотография порошка  $Al_2O_3$  марки ГН

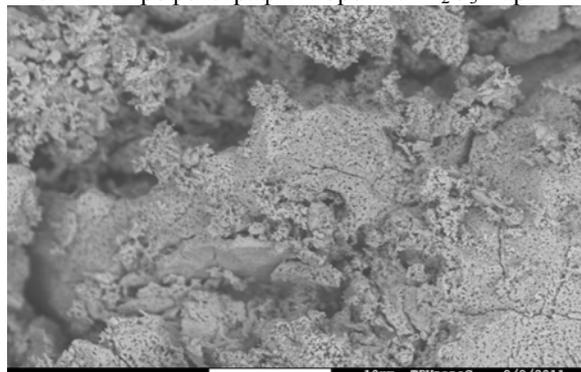
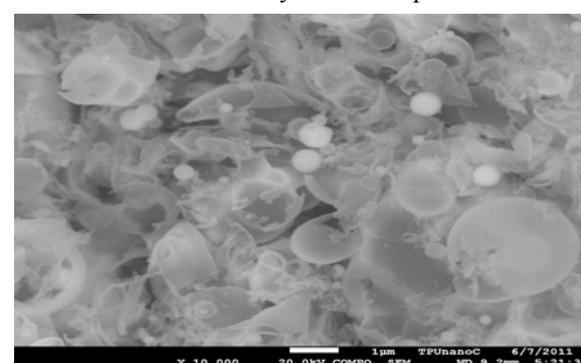


Рис. 2. Микрофотография порошка диоксида циркония

Рис. 3. Микрофотография нанопорошка диоксида циркония

Исследовалось влияние времени и скорости помола на свойства получаемой керамики.



Как оказалось, при увеличении интенсивности и времени механического воздействия, которое оценивалось числом оборотов барабанов планетарной

мельницы при смешивании порошков, увеличивается насыпная плотность исходных смесей (рис. 5). Причем для образцов с наноразмерным  $Al_2O_3$  более резко, вследствие чего при увеличении времени обработки образец при обжиге уплотняется сильнее. Это может быть следствием последовательного процесса распределения нанопорошка по матрице субмикронного оксида при обработке в планетарной мельнице и уплотнения агрегатов, состоящих из нано- и субмикронных порошков. Нанопорошок  $ZrO_2$  не такой рыхлый, его площадь удельной поверхности в два раза меньше, чем нано-оксида алюминия, поэтому изменение интенсивности помола на него влияет в меньшей степени.

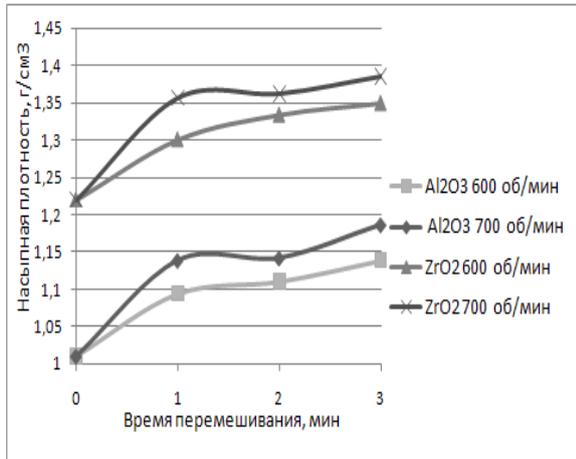


Рис. 5. Влияние времени перемешивания на насыпную плотность порошков.

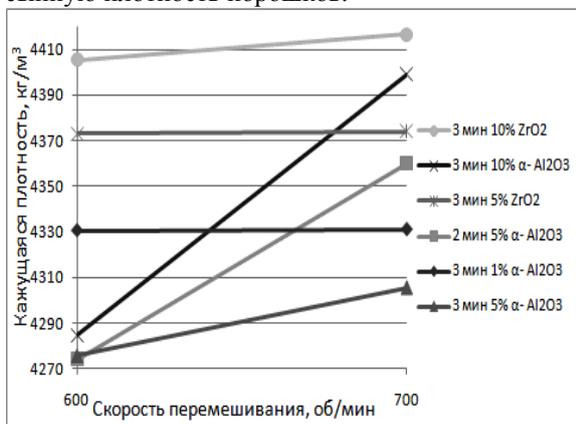


Рис. 6. Влияние интенсивности перемешивания на кажущуюся плотность материалов

Плотность образца, с небольшим содержанием нанопорошка оксида алюминия, так же не меняется при увеличении скорости вращения барабанов (рис. 6). Количество нанопорошка по-разному влияют на величину кажущейся плотности: увеличение количества  $ZrO_2$  приводит к повышению плотности образцов, в то время как добавление нанопорошка оксида алюминия плотность либо не

изменяет, либо уменьшает ее (табл. 1), т.к. по природе оксид алюминия значительно легче, а нанопорошок рыхлее.

Таблица 1. Влияние количества введенного нанопорошка на плотность образцов

Нанопорошок	Количество нанопорошка, %	Интенсивность перемешивания, об/мин	Кажущаяся плотность, кг/м³
$\alpha-Al_2O_3$	1	600	4331
		700	4331
	5	600	4309
		700	4310
	10	600	4285
		700	4416
$ZrO_2$	1	700	4356
	5	700	4381
	10	700	4426

По результатам исследований можно сделать вывод, что состав на основе  $ZrO_2-Al_2O_3$  может быть использован для получения плотной керамики. Для успешного применения композиций с добавками нанопорошков результативным оказалось применение механической активации смесей, которая способствовала уплотнению керамики до 98% в аналогичных условиях обжига. Выявлено, что применение нанопорошка оксида алюминия более перспективно, поскольку его удельная поверхность больше и он лучше распределяется в матрице смеси исходных компонентов.

#### Литература:

1. Подзорова Л.И., Ильичева А.А., Михайлина Н.А., Пенькова О.И., Шворнева Л.И., Таланова Г.В. Прочностные свойства керамики на основе  $Al_2O_3$  и t- $ZrO_2$  при смене матрицы//Огнеупоры и техническая керамика. – 2007. - №2. – с 6-9.
2. Alumina and zirconia ceramics in joint replacements. /C. Piconi, G. Maccauro, F. Muratori, E. Branch Delprever// Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics. – 2003; –№1: с. 19-32.
3. Керамические материалы на основе композита  $ZrO_2-Al_2O_3$ // Сборник трудов IV молодежной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии-2011», г.Москва 2011, с. 103.

Работа поддержана Минобрнауки РФ, договор 13.G25.31.0021 (18-247/10)

## ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ СТРУЕ БОР-УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Рахматуллин И.А., Шаненков И.И.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail; [rahmatullin\\_i@bk.ru](mailto:rahmatullin_i@bk.ru)

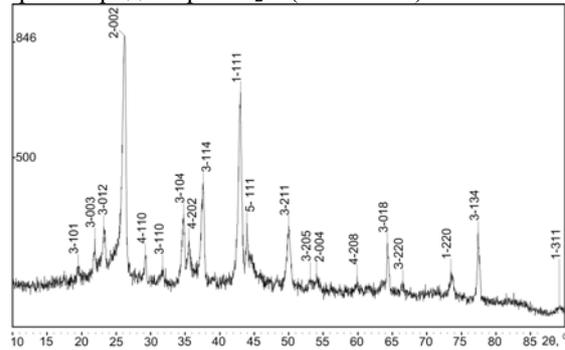
Соединения системы В-С-N представляют большой интерес для различных областей науки и техники благодаря тому, что состоят из легких атомов бора, углерода и азота, соединениям которых присущи большая величина сил межатомного взаимодействия и высокая степень направленности ковалентных связей. Благодаря этому для них характерны такие свойства, как высокая твердость, механическая прочность, износостойкость, теплопроводность, радиационная, химическая и термическая стойкость.

Возможность плазмодинамического синтеза нанокристаллического кубического нитрида бора с-BN в системе В-С-N в гиперсверхзвуковой струе электроразрядной плазмы, генерируемой импульсным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) была показана в работе [1]. Однако порошкообразный продукт, получаемый данным способом, был загрязнен побочными фазами соединений вольфрама, наличие которых обусловлено электрической эрозией материала центрального электрода КМПУ. В данной работе синтез кристаллического с-BN осуществлен с использованием КМПУ с графитовой системой электродов, обеспечивающей отсутствие фаз соединений вольфрама, затрудняющих идентификацию фазового состава продукта. Плазмодинамический синтез осуществлялся в кратковременном режиме работы КМПУ (~400 мкс), генерирующим гиперсверхзвуковую струю бор-углеродной плазмы, истекающей в пространство камеры-реактора (КР), заполненной азотной атмосферой. Исходный реагент в виде аморфного бора с чистотой около 96% закладывался в зону формирования плазменной структуры в количестве 0,3 г поверх небольшого количества углеродного волокна, инициирующего электрический разряд между центральным электродом и электродом стволом. Давление азотной атмосферы в КР до синтеза составляло 1,0 атм.

В результате синтеза был получен темный порошок с синим оттенком массой 0,175 г, который без предварительной подготовки был исследован методами рентгенофазового анализа (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD6000 и просвечивающей микроскопии на электронном просвечивающем микроскопе (ПЭМ) Philips CM12 и Jeol Jem 2100F.

Сложный характер рентгеновской дифрактограммы, представленной на рисунке 1, свидетельствует о гетерофазности полученного продукта. Полнопрофильный анализ дифрактограммы был проведен с использованием программного комплекса PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+.

Лучшие показатели сходности получены при суперпозиции структурных моделей следующих кристаллических фаз: нитрида бора с кубической сингонией (пространственная группа SG F-4 3 m), графита С (SG P-6 3 m c), карбида бора B<sub>13</sub>C<sub>2</sub> (SG R-3 2/m), карбида кремния SiC (SG P-6 3 m c) и карбонитрида бора BC<sub>2</sub>N (SG P 2221).



1 – с-BN; 2 – C(Графит); 3 – B<sub>13</sub>C<sub>2</sub>; 4 – SiC; 5 – BC<sub>2</sub>N

Рисунок 1 – Рентгеновская дифрактограмма продукта плазмодинамического синтеза в системе В-С-N

Основные результаты структурно-фазового анализа отражены в таблице 1. Данные по фазам SiC и BC<sub>2</sub>N в таблице отсутствуют, так как их содержание в продукте менее 1,0 %, но их основные отражения указаны на дифрактограмме.

Таблица 1 – Результаты полнопрофильного анализа продукта синтеза в системе В-С-N

Крист. фаза	Содержание, %	ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$	Параметр решетки эксперимент/теория (PDF4+)	
				a	c
с-BN	67	46	1,5	3,6270/ 3,6240	-
C	15	24	1,7	2,4805/ 2,4700	6,7439/ 6,7900
B <sub>13</sub> C <sub>2</sub>	16	88	2,0	5,6009/ 5,6180	12,0797/ 12,0990

Образование очень малого количества SiC обусловлено эрозией стеклопластикового изолятора центрального электрода КМПУ. Образование же тройной фазы BC<sub>2</sub>N в небольшом количестве вполне возможно в рассматриваемой системе и лишь эта структурная модель позволяет идентифицировать отражения, указанные на дифрактограмме. Из таблицы видно, что доминирующей в продукте синтеза является ожидаемая фаза с-BN содержание которой близко к 70 % при среднем размере областей когерентного рассеяния (ОКР) 46,0 нм, который для нанодисперсных систем соответствует среднему размеру частиц. Относительно небольшой уровень внутренних микронапряжений  $\Delta d/d$  и хорошее совпадение экспериментального и теоретического значений периода ре-

шетки *a* свидетельствует о низкой степени дефектности кристаллической структуры получаемого c-BN.

Образование карбида бора  $B_{13}C_2$  и присутствие кристаллического углерода обусловлены избытком углерода в плазменной системе, без использования которого невозможно реализовать синтез c-BN по рассматриваемому методу. Образование  $B_{13}C_2$  скорее всего происходит на «хвосте» импульса мощности, когда параметры состояния *P* и *t* снижаются ниже величин, необходимых для синтеза c-BN в соответствии с его диаграммой состояния, но еще достаточных для протекания плазмохимического синтеза в системе В-С. Образование чисто углеродной кристаллической фазы в небольшом количестве обусловлено избытком углерода.

Наиболее простым путем исключения образования карбидной фазы может быть некоторое повышение энергетичности процесса и снижение массы изначально закладываемого бора. В рассматриваемом способе, наверное, невозможно обеспечить условия, исключающие присутствие в продукте углеродных фаз. Однако эксперименты показали, что от таких загрязнений, как нанодисперсный углерод легко избавиться термической обработкой до  $\sim 800$  °С в присутствии кислорода, обеспечивающей окисление углерода до  $CO_2$ .

Результаты рентгенофазового анализа подтверждаются данными просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 2 приведены светлопольный снимок скопления частиц в продукте (а) и соответствующая ей картина электронной микродифракции выделенной области (SAED) (б). На SAED присутствуют рефлексы, соответствующие фазам c-BN,  $B_{13}C_2$  и SiC. Смещением апертурной диафрагмы в область рефлекса плоскости 200 c-BN получено темнопольное изображение скопления со светящимися отражающими плоскостями, соответствующими данному рефлексу (в).

На рисунке 3 в светящиеся отражающие плоскости частицы размером около 0,5 мкм соответствуют рефлексу фазы карбида бора в направлении 303. Как видно из рисунка 3 размер частиц для фазы карбида бора варьируется от 0,5 мкм до 2,2 мкм, но ОКР согласно таблице 1 составляет 88 нм, что говорит о наноструктурированности данных микрочастиц, либо о внесении вклада более дисперсной составляющей фазы карбида бора в значение ОКР и возможно более широком распределении размера частиц для данного соединения.

Представленные результаты показывают возможность плазмодинамического синтеза нанодисперсного, сверхтвердого нитрида бора с кубической кристаллической структурой в гиперскоростной струе бор-углеродной плазмы, истекающей в азотную атмосферу.

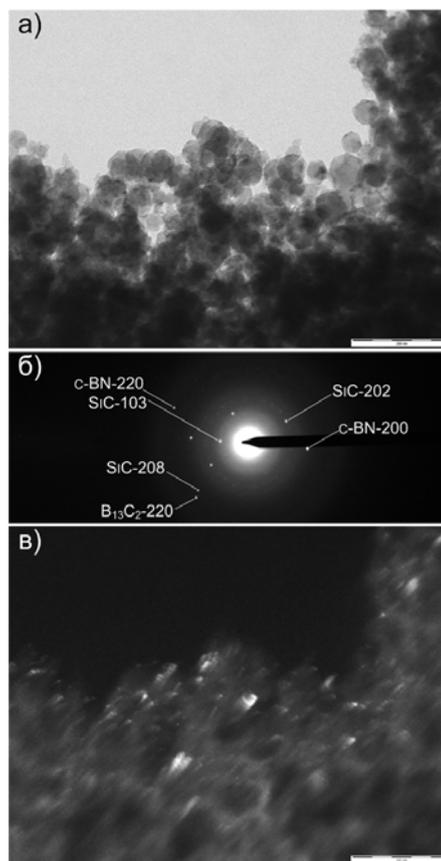


Рисунок 2 – ТЕМ-снимки (а, в) и соответствующая картина электронной дифракции (б) скопления частиц продукта

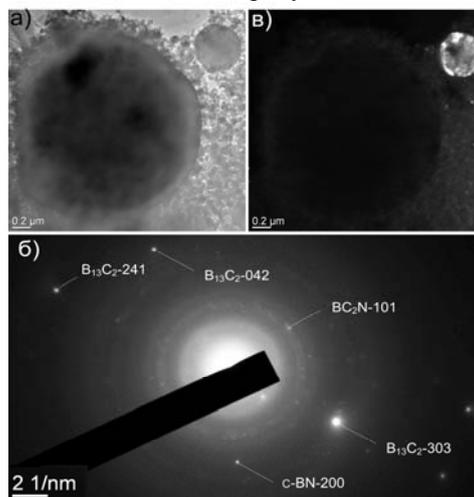


Рисунок 3 – ТЕМ-снимки (а, в) и соответствующая картина электронной дифракции (б) скопления частиц продукта

#### Список литературы:

1. Сивков А. А., Пак А. Я. О возможности динамического синтеза ультрадисперсных кристаллических фаз системы В—С—N в гиперскоростной плазменной струе// Сверхтвердые материалы. №1. 2010. с. 29-39.

## ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ УСТРОЙСТВ

С.А.Серенко

Научный руководитель: Н.Ф.Уваров, д.х.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, просп. Маркса, 20

E-mail: [semen.serenko@yandex.ru](mailto:semen.serenko@yandex.ru)

### Введение

Электрохромные устройства служат для управляемого изменения окраски и коэффициента поглощения света различных покрытий [1]. Такие устройства могут найти широкое применение в качестве «умных окон», покрытий автомобильных стекол, защитных пленок в самолетах, для изготовления электронных дисплеев, затемненных очков, зеркал и т.д.

В состав электрохромного устройства входят два прозрачных слоя проводника находящиеся в контакте с электрохромными слоями и разделенные прослойкой твердого электролита. В качестве проводящего слоя можно использовать оксиды олова, индия, кадмия или цинка, допированные различными добавками [2]. В качестве электрохромных материалов применяют различные оксиды и органические вещества [3]. Для надежной работы устройства необходимо обеспечить хороший контакт между слоями проводника и электрохромного материала. В настоящее время для приготовления электрохромных устройств используется методология последовательного нанесения слоев.

### Экспериментальная часть

В работе рассматривается получение неорганических функциональных покрытий на основе системы  $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$  и  $\text{WO}_3$  как электрохромного вещества. В качестве метода получения функциональных слоев выбран метод химического аэрозольного газового осаждения. Этот метод характеризуется невысокой стоимостью, большой скоростью получения пленок и возможностью регулирования толщины пленок в процессе их роста. В качестве прекурсора для получения аэрозоля использовался водный раствор, содержащий  $2,5\text{M SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и  $0,75\text{M NH}_4\text{F}$ , к которому добавляли 40-60 объемных % этанола или изопропилового спирта. Аэрозоль генерировался ультразвуковым распылителем Delphus F1000 при 55 ГГц, размер капель варьируется от 0,8 до 10 мкм. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

Через питательную трубку 1 в установку подается исходный аэрозоль состава  $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{F}$ , таким образом, чтобы он сразу попадал в горячую зону, создаваемую трубчатой печью 2. При этом температура горячей зоны не должна быть ниже  $350^\circ\text{C}$ , для осуществления разложения реагентов. Продукты пиролиза аэрозоля осаждаются на подогретой стеклянной подложке 3. Стеклянная подложка располагается чуть ниже выхода из трубчатой печи 2, и почти полностью перекры-

вает внутренне сечение трубчатой печи ( $\sim \text{Ø } 38$  мм), но её расположение можно регулировать. Такое расположение выбрано, исходя из того, что на выходе реагенты максимально разлагаются. И затем газообразные продукты покидают установку, через крышку 4. Для регулирования параметров температуры используется прибор Термодат-14Е5 с термопарами для печи и подложки. Среднее время напыления 10 мин.

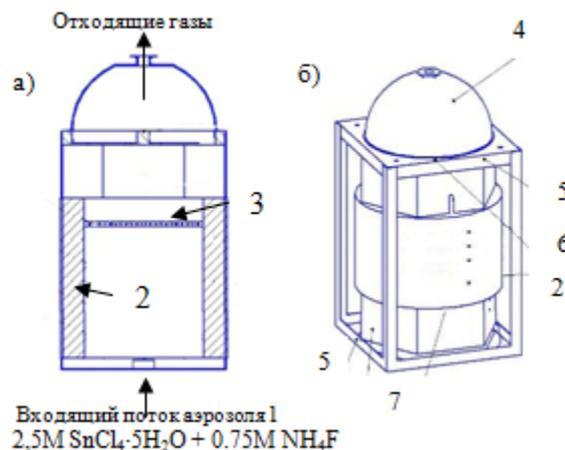
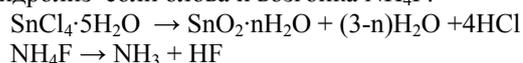


Рис.1 Схема установки для химического газового осаждения функциональных покрытий а) внутренне устройство б) внешний вид: 1- питательная трубка; 2 – трубчатая печь; 3 – подложка; 4, 6 – крышка и крепление; 5 – несущая конструкция; 7 – корпус

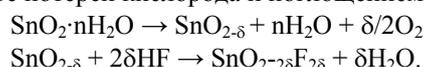
Методы анализа пленки: рентгеновская дифракция (дифрактометр ДРОН-4, излучение  $\text{K}\alpha\text{Cu}$ ), микроструктура – сканирующий электронный микроскоп Hitachi 1000TM, элементный микроанализ с помощью приставки EDX - Quantax 50. Измерение проводимости пленки: Aktacom AM-3001.

### Результаты и обсуждение

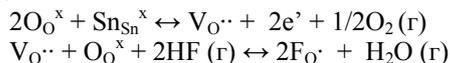
Процесс разложения прекурсора, распыленного в виде аэрозоля, протекает в две стадии. На начальной стадии, протекающей в нижней зоне реактора, температура остается относительно низкой вследствие охлаждения реагентов за счет испарения растворителя. При этом происходит внутренний гидролиз соли олова и возгонка  $\text{NH}_4\text{F}$ .



Образующиеся аэрозольные частицы попадают в более разогретую зону, где происходит разложение гидратированного диоксида олова, сопровождаемое потерей кислорода и поглощением фтора:



Две последние реакции могут быть записаны с помощью символов Крёгера-Винка следующим образом:



В результате указанных реакций образуются дефекты замещения в анионной подрешетке  $\text{F}_\text{O}^\bullet$  и электроны проводимости  $\text{e}'$ , локализованные на центрах  $\text{Sn}_{\text{Sn}}^\times$ .

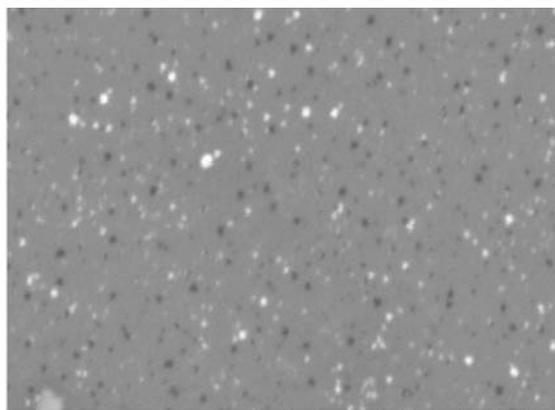


Рис.2 Микрофотография образца материала  $\times 10000$ , полученного при температуре подложки 350 °C

Результаты энергодисперсионного анализа атом. %:

Al 3.5%; Si 38.9%; Cl 3.5%; Ca 13%; Sn 41.1 %

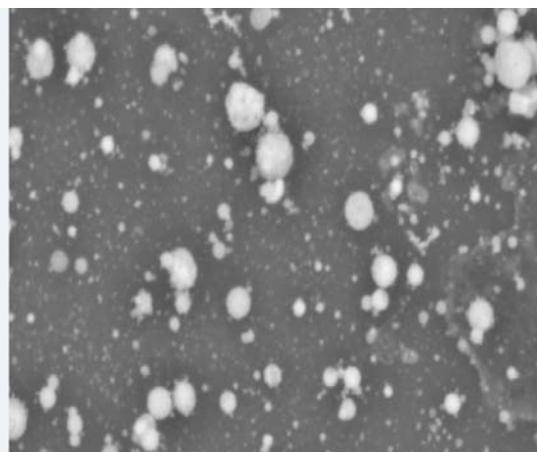


Рис.3 Микрофотография образца материала.  $\times 7000$ , полученного при температуре подложки 100 °C

Результаты энергодисперсионного анализа атом. %:

Na 5.1%; Si 12.5%; Cl 8.4%; Ca 2.6%; Zn 9.4%; Sn 61.9%.

На основании приведённых микрофотографий можно сделать вывод, что при температуре ниже

350 °C  $\text{SnCl}_4$  осаждается на подложку в виде крупных агрегатов, легко стирающихся с подложки и не оставляющих следа. А это в свою очередь приводит к потере проводимости плёнки и прочности сцепления с подложкой. Также наблюдается потеря прозрачности в видимом диапазоне солнечного спектра. Ниже приводятся результаты РФА проводящей плёнки, данные соответствуют микрофотографии 2. На ней видно, что полученная плёнка аморфна, этот результат согласуется с литературными. Результаты РФА полученные для непроводящих плёнок (Рис.3) показывают наличие кристаллической фазы. Это вызвано тем, что кристаллическая фаза соответствует не разложившемуся тетрагидриду олова и гидроксиду олова.

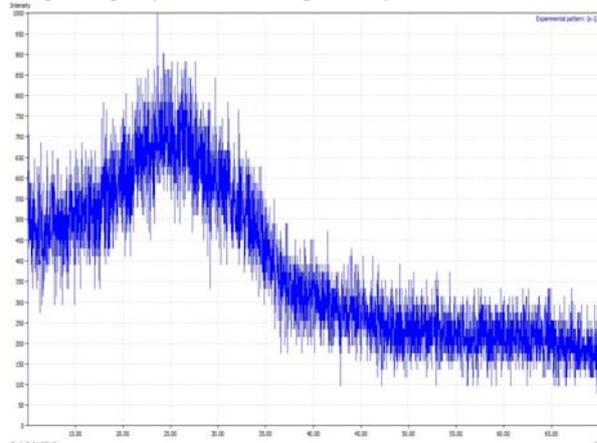


Рис.4 Диаграмма рентгенофазового анализа.

Проводимость полученного образца составляет 560 Ом/см<sup>2</sup>.

### Выводы

Изучено влияние условий осаждения на кристаллическую структуру, микроструктуру и проводимость пленок  $\text{SnO}_2:\text{F}$ . Получены предварительные результаты по получению композитных пленок, состоящих из проводящего и электрохромного компонентов.

### Литература:

1. P.M.S. Monk, R.J. Mortimer, D.R. Rosseinsky, *Electrochromism: Fundamentals and Applications*, VCH, Weinheim, 1995.
2. C.G. Granqvist, *Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review*, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91, (2007).
3. Mortimer R. J, *Electrochromic organic and polymeric materials for display applications*, *Displays* 27 (2006).

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПОРИСТОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Смирнова В.В., Божко П.В., Коновчук Т.В.

Научный руководитель: Ильин А.П. д.ф.-м.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [vv\\_smirnova@sibmail.com](mailto:vv_smirnova@sibmail.com)

Для России остро стоит проблема получения чистой питьевой воды, по параметрам удовлетворяющей Европейским стандартам. Одной из стадий при получении такой воды является извлечение примесей путем адсорбции на поверхности сорбента [1, 2]. Химически инертным и перспективным сорбентом для очистки является диоксид титана. В настоящее время в мире наблюдается повышенный интерес к этому сорбенту, так как на его поверхности кроме адсорбции возможно и процесс обеззараживания воды [3]. В то же время свойства и характеристики образцов диоксида титана, а также способы его получения недостаточно изучены для того, чтобы начать производство опытно-промышленной партии сорбентов и провести их испытания.

Целью настоящей работы является создание технологии получения сорбента на основе диоксида титана с повышенной пористостью путем необратимого гидролиза тетрахлорида титана.

В качестве исходного способа для производства сорбента в работе изучали реакцию гидролиза тетрахлорида титана. В связи с планом развития Томской области планируется добыча и переработка ильменитового концентрата. Одним из продуктов такой переработки является тетрахлорид титана, который может быть переработан в различные виды продукции, такие как, катализатор полимеризации этилена и пропилена, белый пигмент и наполнитель различных красок и лаков, керамики различного назначения, перспективные сорбенты для очистки воды.

По своей природе диоксид титана в определенных условиях может выступать как катионит, так и анионит, адсорбируя катионы и анионы, соответственно. Такая универсальность в очистке воды повышает интерес к исследованию сорбента на основе диоксида титана.

В настоящей работе для получения диоксида титана реактив тетрахлорид титана обрабатывали дистиллированной водой в закрытой емкости. Процесс гидратации тетрахлорида протекал с выделением большого количества теплоты и паров соляной кислоты. Для уменьшения разогрева и эмиссии паров кислоты использовали объем воды превышающий стехиометрический в 5 - 8 раз. Первоначально образующийся осадок имел гелеобразную структуру, что затрудняло фильтрование. Для коагулирования осадка использовали ультразвуковую обработку суспензии (22 кГц, 0.15 Вт/см<sup>2</sup>). При оптимальном времени обработки (10 – 15 мин.) выпадает осадок, который после промывания методом декантации фильтровали через фильтр из стекловолокна (размер отверстий не превышал 5

мкм). Для изучения термической устойчивости полученного образца проводили его термический анализ (рис.1)

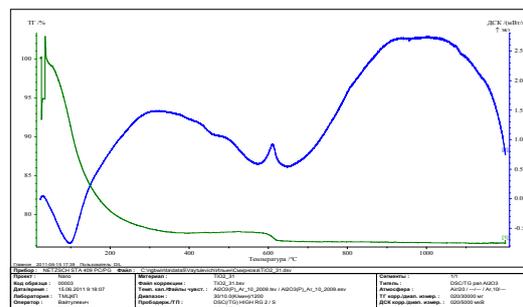


Рис. 1. Термограмма образца гидратированного диоксида титана.

При нагревании удаление из образца адсорбированной воды наблюдалось при температуре 20 – 180 °С и сопровождалось эндотермическим эффектом (с максимумом 100°C). При дальнейшем повышении температуры наблюдалось относительно плавное снижение массы образца до 590 °С и затем более быстрое ее уменьшение, сопровождающееся экзотермическим эффектом, что, наиболее вероятно, связано с процессом фазового перехода из аморфной структуры в кристаллическую структуру анатаза.

Согласно ранее проведенным экспериментам [4], полученный осадок сушили при 110 °С, что позволяло получить продукт аморфной структуры. Результаты проведенного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Фазовый состав прокаленных при различных температурах продуктов гидролиза тетрахлорида титана.

Температура термообработки, °С				
110 - 200	400	600	800	900
аморф.	анатаз	анатаз - рутил	рутил - анатаз	рутил

Согласно полученным результатам процесс кристаллизации аморфного осадка в структуру анатаза происходил при 400 °С [4]. При этой температуре завершаются процессы удаления слабовязанной адсорбированной воды. В то же время образец сохраняет достаточно высокую нанопористость аналогичную распределению пор по диаметру для ранее изученного образца (рис. 2.) [4].

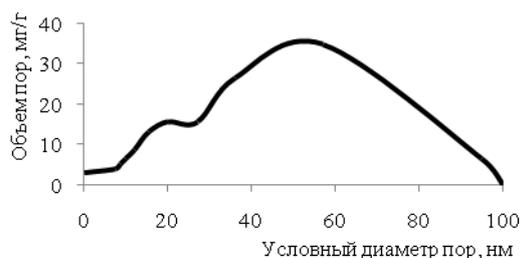


Рис.2. Распределение пор в образце  $\text{TiO}_2$ , высушенного при  $110^\circ\text{C}$ .

Распределение пор по их объему, согласно полученным результатам, характеризуется двумя максимумами, первый из которых приходится на условный диаметр 20 нм, а гораздо большее количество пор имеют диаметр 55 – 57 нм. При дальнейшем нагревании в образце остается еще, вероятно, и конституционная вода. В этом интервале температур, согласно РФА, формируется вещество оксигидроксид титана (IV) -  $\text{TiO}(\text{OH})_2$ . Окончательное удаление воды из образца наблюдается при температуре, превышающей  $900^\circ\text{C}$ . Полученный диоксид титана в порошкообразном состоянии, как сорбент, использовался в работе в дальнейших экспериментах при проведении сорбции ионов тяжелых металлов из модельных водных растворов в статических условиях. Учитывая, что подземные природные воды Западной Сибири загрязнены соединениями железа и марганца, сорбцию примесей этих металлов исследовали в первую очередь.

Один из модельных экспериментов проводили с растворами железа (II) и железа (III), приготовленными растворением точной навески соли Мора в подкисленной дистиллированной воде. При введении в модельный раствор (2000 мл), содержащий 15 мг/л ионов железа, 0,5г сухого сорбента и при максимальной продолжительности эксперимента 48 часов концентрация примеси уменьшилась до 4,37 мг/л. Таким образом, сорбционная емкость образца составила 21,26 мг железа на 1 г сорбента.

Аналогичные эксперименты были проведены с модельными растворами марганца (II), для приготовления которых использовали соль  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Сорбция ионов марганца протекала с аналогичной динамикой, но степень их извлечения из воды составила 52% от их содержания в исходной навеске. Результаты экспериментов по извлечению исследуемых ионов приведены на рис.3. Более высокая степень извлечения ионов железа объясняется возможным протеканием автокаталитического осаждения в виде гидроксида железа (III) или его основных солей на поверхности сорбента, т.е. происходило формирование многослойного осадка, чего не наблюдается для примесей марганца.

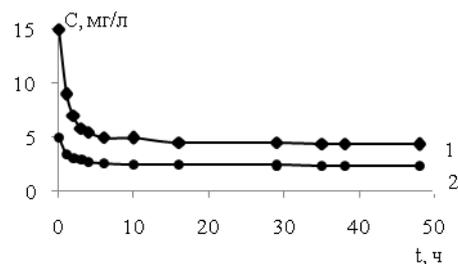


Рис.3. Зависимости концентрации примесей ионов железа и марганца от времени сорбции на поверхности диоксида титана (1 – ионы железа, 2 – ионы марганца).

Для исследования сорбции примесей тяжелых металлов в потоке необходимо придание сорбенту механической прочности. Одним из вариантов изготовления такого сорбента является его гранулирование. Для отработки режимов получения удобного для сорбции примесей сорбента необходимо подобрать водостойкого не растворимого связующего, что обеспечивает устойчивость сорбента в водном потоке.

Выполненные предварительно лабораторные экспериментальные работы показали возможность использования разрабатываемого сорбента для извлечения растворимых примесей тяжелых металлов и доведения очищаемой воды до Европейских стандартов. В работе установлены режимы и операции, которые необходимы для приготовления высокопористого  $\text{TiO}_2$  с использованием реакции гидролиза тетрахлорида титана с жидкой водой. В дальнейшем из получаемого порошка необходимо изготавливать гранулы, у которых имеется открытая поверхность и высокая пористость. Также необходимо разработать систему регенерации сорбента и его утилизации после окончания эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Каниболоцкий В. А., Пашута Ю. С., Степанов В. П., Чуйко А. А. Исследование адсорбционных явлений и адсорбентов // Ташкент, ФАН, 1980. - С. 53
2. Строения и свойства адсорбентов и катализаторов // Под. ред. Б.Г. Линсена. – М.: Мир, 1973. – 650с.
3. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды, 1998. – Т.20, №2. – С. 190 – 217.
4. Ханова Е.А., Коробочкин В.В. Исследование параметров пористой структуры диоксида титана, полученного электрохимическим синтезом на переменном токе // Известия Томского политехнического университета, 2003. – Т.306. № 3. – С. 89 – 94.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ДИЭЛЕКТРИКОВ НАНОМЕТРОВОЙ ТОЛЩИНЫ

Федин И.В., Ионов Е.А.

Научный руководитель Троян П.Е., д.т.н., профессор  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 40  
E-mail: [fedinivanvladimirovich@mail.ru](mailto:fedinivanvladimirovich@mail.ru)

Получение диэлектрических плёнок с низким значением диэлектрической проницаемости является актуальной научно-технической проблемой для интегральной СВЧ электроники, как метод уменьшения потерь и увеличения скорости распространения сигнала. Повышение внешнего квантового выхода светодиодов возможно за счёт нанесения плёнок диэлектриков с низким значением показателя преломления. Таким образом, разработка методов получения и исследования свойств диэлектрических материалов с низким значением диэлектрической проницаемости и показателя преломления – актуальная проблема. В данной работе проводилось исследование зависимости диэлектрической проницаемости и показателя преломления плёнок диоксида кремния, модифицированного углеродом ( $\text{SiO}_2+\text{C}$ ) [1].

Для исследования диэлектрической проницаемости плёнок  $\text{SiO}_2+\text{C}$  напылялась МДМ структура (Al -  $\text{SiO}_2+\text{C}$  - Al) на стеклянную подложку. Алюминий напылялся методом термического испарения в вакууме (давление  $6 \cdot 10^{-3}$  Па) с использованием специальных масок, позволяющих получить конденсаторную структуру.  $\text{SiO}_2+\text{C}$  напылялся методом магнетронного распыления составной кремний-графитовой мишени в атмосфере воздуха. Для определения значения диэлектрической проницаемости использовалась формула плоского конденсатора. Значение ёмкости конденсаторных структур Al -  $\text{SiO}_2+\text{C}$  - Al определялось с исполь-

зованием измерителя иммитанса E7-20, на частоте переменного тока 1 кГц. Толщина плёнки измерялась на эллипсометрическом комплексе «Эллипс-1897 САГ». Площадь обкладок однозначно определялась исходя из толщины маски для алюминиевых электродов. Таким образом, по формуле  $\epsilon = \frac{C \cdot d}{q \cdot S}$  вычислялось значение диэлектрической проницаемости плёнки  $\text{SiO}_2+\text{C}$ .

Исследование показателя преломления проводилось на эллипсометрическом комплексе «Эллипс-1897 САГ». Плёнки диоксида кремния, модифицированного углеродом напылялись методом магнетронного распыления составной кремний-графитовой мишени на кварцевые подложки. Толщина напыляемых плёнок составляла 300 нм. Значение показателя преломления бралось для длины волны падающего излучения, равного 632.8 нм.

На одной подложке получалось до 50 конденсаторных структур. Значение ёмкости имело большой разброс по подложке, поэтому выбиралось наиболее вероятное (часто встречаемое) значение, которое использовалось для вычисления диэлектрической проницаемости.

На рисунке 1 приведён график зависимости диэлектрической проницаемости плёнки  $\text{SiO}_2+\text{C}$  от  $Sy/Sm$ .  $Sy/Sm$  – отношение площади, занимаемой углеродом, к площади рабочей поверхности магнетрона.

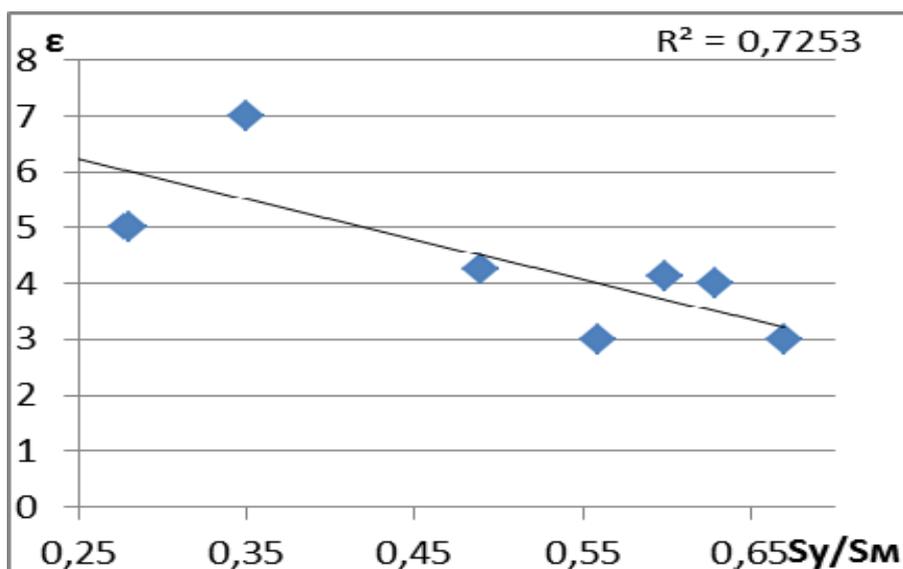


Рис1. График зависимости диэлектрической проницаемости от  $Sy/Sm$ .

$R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации, характеризующий линейность зависимости. Как видно из графика зависимости, изображённой на рисунке 1, введение углерода в плёнку диоксида кремния понижает её диэлектрическую проницаемость, что может быть использовано для повышения частотных характеристик приборов, изготовленных на её основе.

Результаты исследования зависимости показателя преломления плёнки  $\text{SiO}_2+\text{C}$  от концентрации углерода приведены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, полученная зависимость имеет ярко выраженный обратно пропорциональный линейный характер, что позволяет управлять показателем преломления плёнок  $\text{SiO}_2+\text{C}$ , с высокой точностью, путём варьирования количества введённого углерода. Данное свойство позволяет использовать исследуемые плёнки в оптике в качестве просветляющих покрытий.

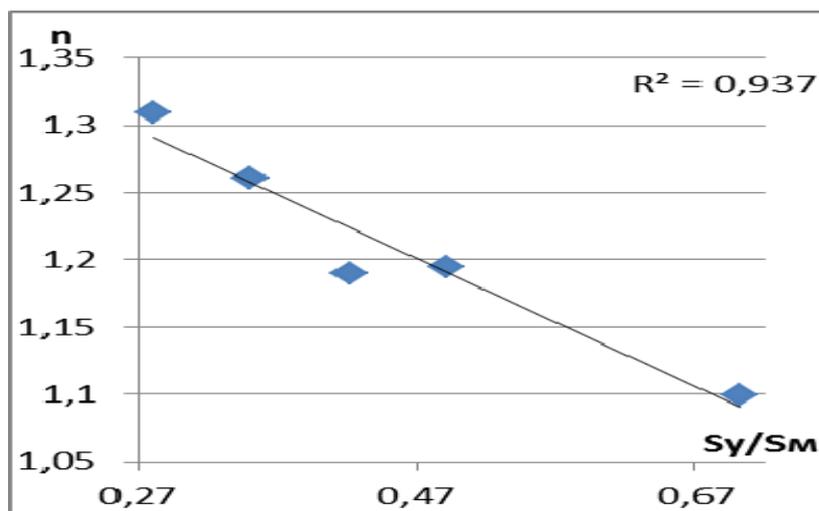


Рис 2. График зависимости показателя преломления от концентрации введённого углерода

В ходе проведённого исследования изучались зависимости диэлектрической проницаемости и показателя преломления плёнок диоксида кремния, модифицированного углеродом. Было выявлено, что обе данные характеристики уменьшаются с увеличением площади занимаемой углеродом на составной кремний-графитовой мишени магнетона, причём зависимость показателя преломления имеет ярко выраженный линейный характер. Возможно, уменьшение показателя преломления вызвано повышением пористости плёнок, вследствие разрыхляющего действия введённого в них углерода [2]. Так же, возможно, что образовавшиеся поры являются мезопорами, повышающими содержание воздуха в получаемых структурах. Поскольку диэлектрическая проницаемость воздуха равна 1, общая диэлектрическая проницаемость полученной структуры уменьшается.

Полученные результаты можно использовать для межслойной изоляции интегральных СВЧ схем и повышения внешней квантовой эффективности светодиодов, изготовленных на основе нитрида галлия.

#### Литература:

- [1] Сахаров Ю.В. влияние примеси углерода на формовку и электрофизические параметры МДМ структур: Дисс. ... канд. Техн. – Томск, 2006 – 150 с.
- [2] Троян П.Е. Сахаров Ю.В., Исследование пористых плёнок диоксида кремния. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники – 2011. - № 2 (24), ч.2. - с. 77-80
- 3 Данилин Б.С.; Вакуумная техника в производстве интегральных микросхем. – Энергия, 1972. – 256с
- 4 Ч. Пул, Ф. Оуэнс.; Нанотехнологии. – Москва: Техносфера, 2005. – 336с
- 5 Е.А. Высоцкая ВКР Исследование фотореактивных кристаллов методами колебательной спектроскопии / Томск. ун-т сист. упр. и рад. – 2010. – 64с – ФЭТ ВКР.443225.001 ПЗ
- 6 М.Р. Федюнина ВКР Исследование плёнок  $\text{SiO}_2$  методами ИК-спектроскопии/ Томск. ун-т сист. упр. и рад. – 2007. – 45 с. – ФЭТ ВКР.410224.001 ПЗ
- 7 Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: методические указания по выполнению лабораторных работ. Томск. ун-т сист. упр. и рад. 2007. – 60с.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ТВЁРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цыбенко А.О., Терентьев Д.Н., Жмуровских А.В.

Научный руководитель: Соловьев А.А., к. ф.-т. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [alyonka300592@mail.ru](mailto:alyonka300592@mail.ru)

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) представляют собой электрохимические генераторы, эффективно преобразующие химическую энергию взаимодействия водорода с кислородом в электрическую. Особый интерес представляют ТОТЭ на металлической основе благодаря их надежности, возможности быстрого запуска, стойкости к термоциклированию и механической стабильности при сильной вибрации.

Для изготовления пористых металлических подложек, на которые наносятся функциональные слои ТОТЭ (анод, электролит и катод), как правило, используют нержавеющие стали марок SS430, 434, а также Fe-Cr сплавы [1]. Упомянутые нержавеющие стали и сплавы имеют содержание хрома в диапазоне от 18 до 27 массовых процента. Однако в результате длительной эксплуатации этих материалов, в частности сплава FeCr, при высоких температурах (~800 °C), имеет место диффузия хрома к поверхности и его осаждение в виде Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхности анода или катода. Это существенно снижает каталитическую активность электродов, приводит к уменьшению коррозионной стабильности металлической основы и увеличению коэффициента термического расширения (КТР) несущей основы и в конечном итоге снижает производительность топливных элементов с течением времени.

Нами было предложено в качестве материала несущей основы топливного элемента использовать интерметаллид Ni<sub>3</sub>Al. Данный материал обладает сходным с другими слоями топливного элемента КТР, равным  $15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  при температуре 800°C. Кроме того, достоинствами данного материала являются низкая скорость окисления при высоких температурах и относительно низкая цена исходного материала.

Пористые металлические структуры обычно изготавливаются в виде пены, сетки и т.п. методами лазерной обработки или порошковой металлургии. Продукция из порошков может быть выполнена, например, сухим изостатическим прессованием для получения образцов различной геометрии или путем создания металлической подложки в виде ленты с использованием связующих и совместного их спекания со слоями топливных элементов.

В качестве метода изготовления пористых Ni<sub>3</sub>Al подложек был предложен метод самораспространяющегося температурного синтеза (СВС) в режиме теплового взрыва. СВС в режиме теплового взрыва осуществляют путем нагревания смеси разнородных порошков до температуры, при

которой в ней начинается химическая реакция. Происходит саморазогрев смеси до высокой температуры. Основная особенность данного способа синтеза заключается в том, что инициирование реакции осуществляется не с поверхности, а за счет прогрева всего реагирующего вещества. При этом в зависимости от соотношения определяющих параметров, максимум температуры может возникать либо в центре реакционного объема, либо между центром и поверхностью. Тепловой взрыв в послеиндукционный период завершается стадией самораспространения.

В ходе эксперимента пористые несущие основы диаметром 20 мм и толщиной 2 мм формировались из смеси порошков никеля УТ-4 и алюминия АСД-6 методом двустороннего прессования с усилием от 70 до 110 МПа. Внешний вид образцов после прессования показан на рисунке 1.

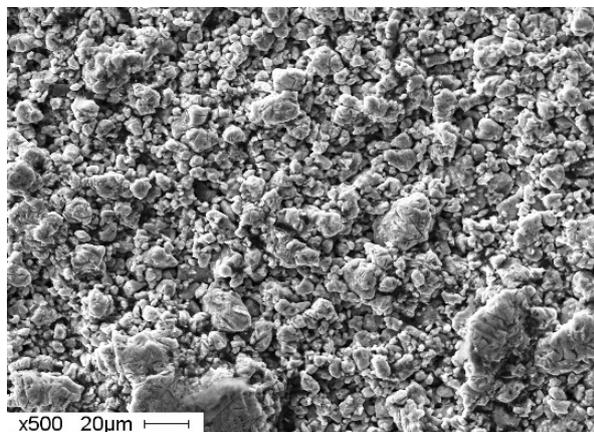


Рис.1 Образцы, после двустороннего прессования смеси порошков никеля УТ-4 и алюминия АСД-6.

Синтез образцов проводился в реакторе постоянного давления в атмосфере аргона при давлении  $10^5 \text{ Па}$ : пористые заготовки нагревались внутри электрической печи со скоростью нагрева 30 град/мин. При температурах 500° - 600°C регистрировался тепловой взрыв; максимальная температура на поверхности пластин достигала 1100°C. Метод СВС имеет значительные преимущества в сравнении с традиционно применяющимися методами порошковой металлургии, так как позволяет получать готовые пористые изделия с заданным фазовым составом в одну технологическую стадию.

Образцы, полученные методом СВС, были проанализированы посредством сканирующего электронного микроскопа Philips SEM 515. Результаты анализа представлены на рисунке 2.

Эксперименты показали, что используя данный метод, удается формировать пористые интерметаллические подложки диаметром 20-50 мм с пористостью 40-50% и размером пор от 3 до 10 мкм (рис. 2).

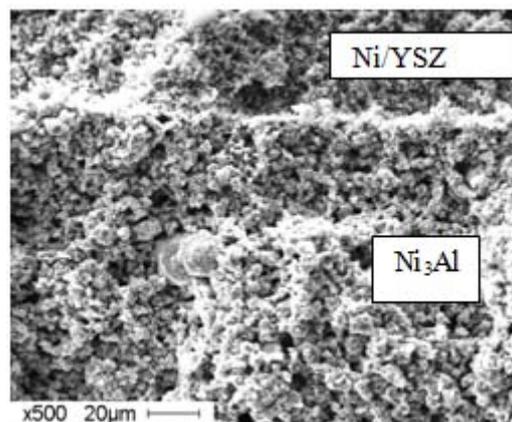


**Рис.2** Пористая структура несущей основы Ni<sub>3</sub>Al, полученной методом СВС.

Таким образом, образцы обладают хорошей газопроницаемостью, что обеспечит беспрепятственный доступ газов реагентов к пористым электродам ТОТЭ.

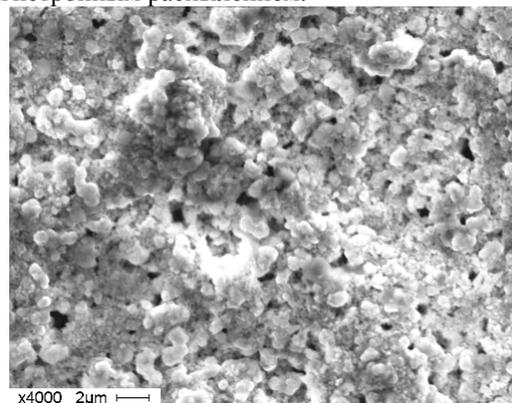
Помимо формирования непосредственно Ni<sub>3</sub>Al образцов нами также было предложено изготавливать структуры «несущая металлическая основа – Ni/YSZ анод» методом СВС. В данном случае на пресованную Ni<sub>3</sub>Al подложку наносился слой анодной пасты, состоящей на 50% из NiO и на 50% из ZrO<sub>2</sub>·Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (производства ESL Electrosience, США). Толщина слоя составляла примерно 30-40 мкм. После этого несущая основа, с нанесённым на её поверхность анодом были синтезированы методом СВС. На рисунке 3 показан поперечный скол полученных образцов.

Преимущество создания двухслойной структуры «металлическая подложка – анод ТОТЭ» заключается в том, что сокращается количество длительных высокотемпературных стадий формирования слоев ТОТЭ. Вообще формирование электродов для ТОТЭ на несущей металлической пластине традиционными методами спекания затруднительно, поскольку окислительная среда в процессе спекания может пагубно повлиять на металлическую подложку. В нашем случае процесс формирования анодного слоя происходит в инертной (аргоновой) атмосфере, что не приводит к формированию оксидного непроводящего слоя между анодом и металлической основой.



**Рис.3** Структура «несущая основа Ni<sub>3</sub>Al – анод Ni (50%)/ZrO<sub>2</sub>·Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50%) (35 мкм)», полученная методом СВС.

Полученная в итоге двухслойная структура имеет гладкую поверхность с размером пор менее 1-2 мкм, что позволяет формирование на ней газо-непроницаемой пленки YSZ электролита толщиной 3-5 мкм методом реактивного магнетронного распыления (рис. 4). Катод ТОТЭ может быть нанесен затем любым доступным способом, например, плазменной струей, трафаретной печатью, магнетронным распылением.



**Рис.4** Картина поверхности Ni/YSZ анода, сформированного на Ni<sub>3</sub>Al Подложке методом СВС.

Преимуществом метода СВС является то, что данный метод не требует существенных затрат, так как процесс протекает за счёт использования внутренней энергии, заключённой в исходных реагентах. Также скорость СВС – процесса на несколько порядков превышает все достигнутое к настоящему времени в аналогичных технологических процессах.

#### Список литературы:

1. Wu J., Liu X. Recent Development of SOFC Metallic Interconnect // J. Mater. Sci. Technol., 2010, V. 26(4), p. 293-305.

## СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ ХЛОРБЕНЗОЛА НА CoO/SiO<sub>2</sub> КАТАЛИЗАТОРАХ

Чичкань А.С.

Научный руководитель: Чесноков В.В., д.х.н.

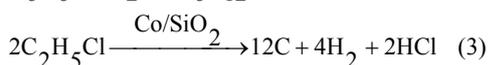
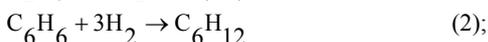
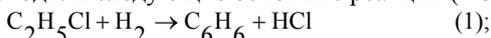
Институт катализа СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 5

E-mail: [AlexCsh@yandex.ru](mailto:AlexCsh@yandex.ru)

Химическая промышленность является крупным поставщиком сырья, полупродуктов и различных материалов, включая пластмассы, лаки, краски, минеральные удобрения и т.д. До половины оборота химической промышленности прямо или косвенно связано с участием хлора [1]. При производстве, переработке и использовании химических веществ образующиеся хлорорганические отходы требуют утилизации или уничтожения, т.к. обладают высокой токсичностью и несут потенциальную опасность для здоровья и жизни людей [2]. Поэтому задача создания технологии переработки хлорорганических отходов является актуальной. Существуют различные методы обезвреживания хлорорганических отходов: реагентные, окислительные, электрохимические, пиролитические, а также сжигание, химическая и плазмохимическая переработка, захоронение. Сжигание применяется наиболее широко и чаще из экономических соображений. Альтернативой сжигания является метод каталитического гидродехлорирования. При утилизации отходов каталитическим методом исключается образование хлордиоксинов и парниковых газов. Основной проблемой гидродехлорирования является дезактивация катализаторов, которая приводит к нестабильной работе системы.

Целью настоящего исследования стала разработка эффективных кобальтсодержащих катализаторов для проведения реакций гидродехлорирования на примере разложения хлорбензола.

Методом пропитки были синтезированы CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторы с различным содержанием оксида кобальта (1 %, 5 % и 10 %). Катализаторы были испытаны в проточном кварцевом реакторе с весами Мак-Бена, что позволило следить за изменением массы образца непосредственно в ходе реакции. В качестве исходного сырья использовали хлорбензол. В процессе гидродехлорирования проходили следующие основные реакции (1-3):

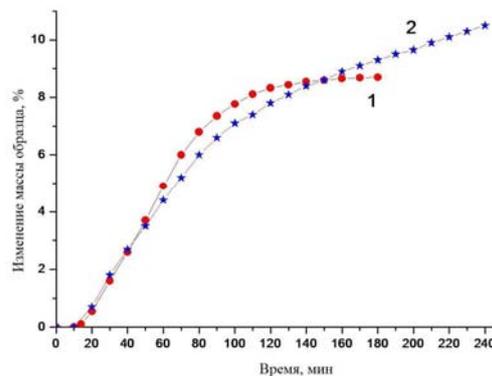


Таким образом, одновременно проходило несколько реакций: гидродехлорирование до бензола, гидрирование бензола до гексана и образование хлороводорода и углерода на поверхности катализатора. Углерод – это углеродные нанотрубки (УНТ), которые сами по себе представляют большой интерес благодаря своим уникальным свойствам. В перспективе УНТ могут иметь широкий спектр применения: в строительстве, материаловедении, электронике, катализе и т.д.

Зауглероженные катализаторы были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии с использованием прибора JEM-100CX с разрешением 2 Å по линиям. Детальное изучение углеродных наноструктур проводили с применением электронной микроскопии высокого разрешения (ЭМВР) в сочетании с дифракцией электронов. ЭМВР проводили с помощью прибора JEM-2010 с разрешением 1,4 Å по линиям.

На первоначальном этапе было проведено исследование возможности термического превращения самого хлорбензола. В реактор подавали аргон, насыщенный парами хлорбензола. Реакцию проводили при 600-700 °С с подъемом температуры в ходе опыта. Состав газовой смеси на выходе из реактора был проанализирован с помощью хроматографа «Кристалл 2000». Было показано, что термическое превращение хлорбензола незначительно и составляет приблизительно 5 %. При выборе катализатора руководствовались следующими фактами: оксид кремния устойчив к воздействию хлороводорода, поэтому более предпочтителен в качестве носителя катализатора, чем, например, оксид алюминия; кобальт обладает каталитической активностью как в реакции гидродехлорирования, так и в процессе образования углерода. Было показано, что оксид кремния обладает некоторой активностью в реакции гидродехлорирования, а конверсия хлорбензола (ХБ) – около 30 %.

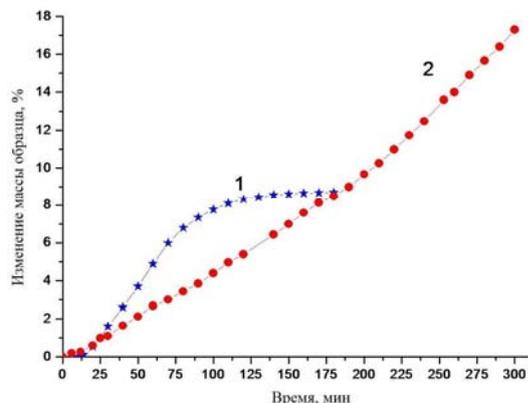
Кобальтсодержащие катализаторы с крайними значениями (1 % и 10 %) были исследованы в реакции гидродехлорирования без водорода. На рисунке 1 представлены кинетические кривые образования углерода.



**Рис. 1** Кинетические кривые образования углерода на катализаторах 1 % CoO/SiO<sub>2</sub> (1) и 10 % CoO/SiO<sub>2</sub> (2). Подача реагента ХБ:Ar = 1,6:100. Температура реакции 600 °С.

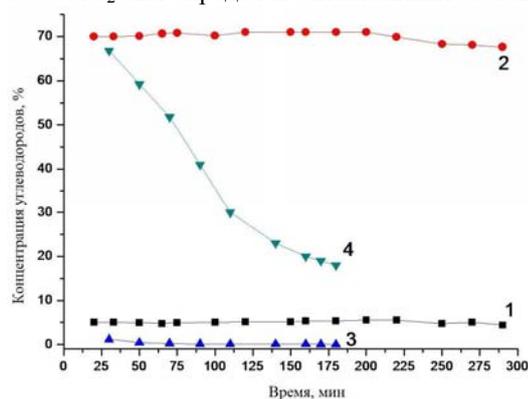
Видно, что скорость образования углерода на 10 % CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторе снижается после 40

минут эксперимента, однако работает гораздо стабильнее, чем 1 % CoO/SiO<sub>2</sub> катализатор. Добавка в исходную реакционную смесь водорода положительно влияет на общий процесс гидродеchlorирования: при снижении скорости образования углерода, стабильность работы катализатора возрастает. Влияние водорода на скорость образования углерода из хлорбензола показано на рисунке 2.



**Рис. 2** Кинетические кривые образования углерода из хлорбензола на 1% CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторе. Пдача: (1) – ХБ:Аг = 1,6:100; (2) – ХБ:Аг:Н<sub>2</sub> = 0,8:50:50 при T= 600 °С.

Добавка водорода увеличивает конверсию хлорбензола, поэтому количественный состав реакционной смеси на выходе меняется (рис. 3). Были проведены электронно-микроскопические исследования углерода, образующегося на CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторах. Исследования показали, на CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторах образуются углеродные нанотрубки. Кроме того, для катализаторов CoO/SiO<sub>2</sub> был определен оптимальный состав.



**Рис. 3** Изменение концентраций углеводородов от времени в реакции гидродеchlorирования хлорбен-

зола при T = 600 °С на 1% CoO/SiO<sub>2</sub> катализаторе. Условия реакции: Аг (ХБ) = 3 л/час, Н<sub>2</sub> = 5 л/ч для графиков 1 (гексан) и 2 (бензол); Аг (ХБ) = 3 л/час, Н<sub>2</sub> = 0 л/ч для графиков 3 (гексан) и 4 (бензол).

Лучшими характеристиками в реакции разложения хлорбензола обладал катализатор 5 % CoO/SiO<sub>2</sub>. При большем содержании оксида кобальта (10 %) частицы металла спекаются и увеличиваются в размере, что приводит к дезактивации катализатора. Для процесса образования углеродных нанотрубок требуются высокодисперсные металлические частицы, поэтому желательно использовать катализаторы с меньшим содержанием оксида кобальта.

В результате проведенного исследования были синтезированы катализаторы CoO/SiO<sub>2</sub> с различным содержанием оксида кобальта. Полученные катализаторы были изучены в реакции разложения хлорбензола. Показано, что активность носителя в основной реакции незначительна, активность самого катализатора CoO/SiO<sub>2</sub> зависит от содержания в нем активного компонента (оксида кобальта). Установлено, что оптимальным по составу катализатором для образования углеродных нанотрубок является 5 % CoO/SiO<sub>2</sub> катализатор. Показано, что присутствие водорода в системе увеличивает конверсию хлорбензола и стабильность работы катализатора в процессе образования углеродных нанотрубок.

#### Список использованных источников:

1. Л.Н. Занавескин, В.А. Аверьянов, О.А. Конорев Окислительные методы переработки и детоксикации хлорорганических отходов. Курс на ресурсосбережение и экологическую безопасность // Химическая промышленность, 2002, № 2, С. 1-17.
2. Л.Н. Занавескин, О.А. Конорев Четыреххлористый углерод. Методы переработки в экологически безопасные продукты и перспективы их развития. // Химическая промышленность, 2002, № 9, С. 4-21

## О ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА КАРБИДА БОРА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ СТРУЕ БОР-УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Шаненков И.И., Рахматуллин И.А.

Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [rahmatullin\\_i@bk.ru](mailto:rahmatullin_i@bk.ru)

Синтез нанодисперсного сверхтвердого карбида бора вызывает повышенный интерес среди исследователей в связи с известными свойствами и возможностью применения его в различных областях производственной деятельности. Наиболее достоверно установленные соединения карбида бора обладают стехиометрией  $B_4C$  ( $B_{12}C_3$ ) либо  $B_{13}C_2$ . Получают карбид бора восстановлением борного ангидрида  $B_2O_3$  углеродом (сажей) при температуре 1900-2150 °С, что определяет необходимость в оборудовании для нагрева до таких температур. Аналитический обзор литературы показывает, что в последнее время большой интерес проявляется к другим потенциально возможным соединениям в системе В-С. Наиболее перспективными представляются соединения карбида бора со стехиометрией  $BC_3$  и  $BC_7$  [1]. Теоретические исследования предсказывают этим соединениям металлическую проводимость [2], сверхпроводимость в условиях низких температур [3], способность служить материалом для реверсивного хранилища водорода [4] и др. Синтезировать алмазоподобную фазу карбида бора  $d-BC_3$  удалось статическим нагружением графитоподобного  $g-BC_3$  при давлении до 50 ГПа и температуре 2033 К [5]. Параметры такого порядка могут быть получены только на специализированном оборудовании, которое требует значительных материальных затрат.

Такие условия получения карбида бора могут быть реализованы с помощью уникального метода прямого динамического синтеза в гиперсверхзвуковой струе электроразрядной плазмы, генерируемой коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ), работающем в импульсном режиме и питающемся от емкостного накопителя энергии [6]. КМПУ спроектирован и разработан в НИТПУ.

Плазмодинамический синтез в системе В-С осуществлялся в импульсном режиме работы КМПУ (~350 мкс), генерирующем бор-углеродную плазму, истекающую в камеру-реактор (КР), заполненную аргоном в качестве инертной атмосферы при давлении в 1,0 атм. Осциллограммы тока и напряжения в процессе синтеза приведены на рисунке 1. Максимальное значение напряжения импульса составило 1,8 кВ, ток разряда достиг значения в 82,0 кА, мощность импульса составила 138,0 МВА, а выделившаяся в ускорительном канале энергия – 17,7 кДж. Исходные реагенты массой 1,0 г в виде порошкообразной смеси аморфного бора с чистотой ~96% и сажи в соотношении 4:1 соответственно закладывался в зону формирования плазменной структуры. Данное соотношение было выбрано исходя из стехиометрии карбида бора  $B_4C$ . Гиперсверхзвуковая струя электроразряд-

ной плазмы истекая в объем КР сталкивается с медной преградой, установленной для повышения давления в процессе синтеза. Использование меди в качестве материала преграды обусловлено ее высокой теплопроводностью, обеспечивающей экстремальные условия закалки, позволяющие получать более дисперсный продукт.

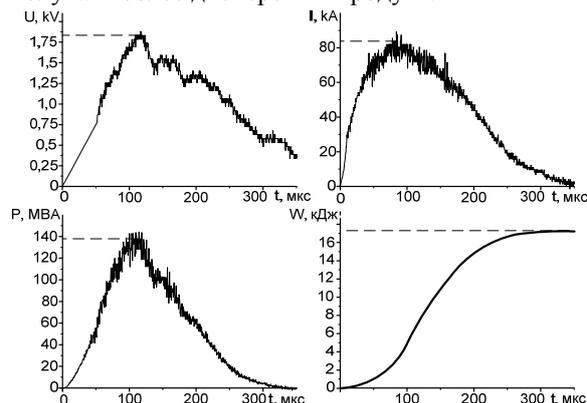


Рисунок 1 – Осциллограмма напряжения, тока, мощности и выделившейся энергии в процессе синтеза

Вскрытие КР показало, что в результате синтеза на медной преграде образовалось покрытие (рисунок 2) светло-серого цвета. Из снимка очевидно, что при попадании плазменной струи в центр преграды происходит разлет материала от центра к внешнему диаметру с образованием протяженных линий-треков.



Рисунок 2 – Медная мишень с осажденным карбидом бора

Материал покрытия был исследован методами рентгеновского структурно-фазового анализа (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD6000 и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на просвечивающем микроскопе Philips CM12. Полнопрофильный анализ рентгеновской дифрактограммы, приведенной на рисунке 3, был проведен с помощью программного комплекса

«PowderCell2.4» и базы структурных данных PDF4+. По его результатам (таблица 1) доминирующей фазой в продукте является карбид бора со стехиометрией  $B_{13}C_2$  (пространственная группа SG R-3 2/m), также идентифицированы графит С (SG P-6 3 m c) и медь (SG F-4/m-3 2/m).

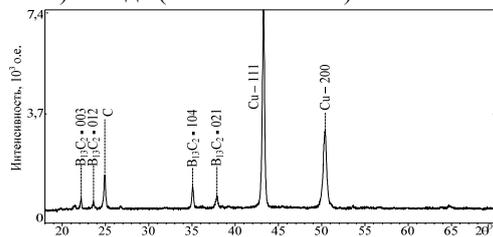


Рисунок 3 – Рентгеновская дифрактограмма продукта плазмодинамического синтеза в системе В-С

Содержание кристаллического углерода обусловлено его избыточностью в системе вследствие электрической эрозии материала электродов КМПУ. Присутствие отражений на дифрактограмме, соответствующих меди, вызвано тем, что для XRD частицы продукта были отделены от медной подложки.

Среднее значение областей когерентного рассеивания (ОКР) для карбида бора 39,0 нм свидетельствует о наноструктурированности полученного продукта. Низкая степень дефектности подтверждается небольшим различием экспериментальных и теоретических значений параметров решеток и уровнем внутренних микронапряжений (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты полнопрофильного анализа продукта синтеза в системе В-С

Крист. фаза	Содержание, %	ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$	Параметр решетки эксперимент/теория (PDF4+)	
				a	c
$B_{13}C_2$	58,0	39,0	0,9	5,6009/ 5,6464	12,1012/ 12,1571
C	14,0	47,0	6,9	2,4120/ 2,4700	71650/ 6,9700
Cu	28,0	-	-	3,6297/ 3,6150	-

Для проведения исследований с помощью ПЭМ частицы полученного продукта были размолоты в агатовой ступке. На светлоскопическом ТЕМ-снимке на рисунке 4а видны частицы субмикронного и микронного диапазона. На соответствующей картине электронной дифракции выделенной

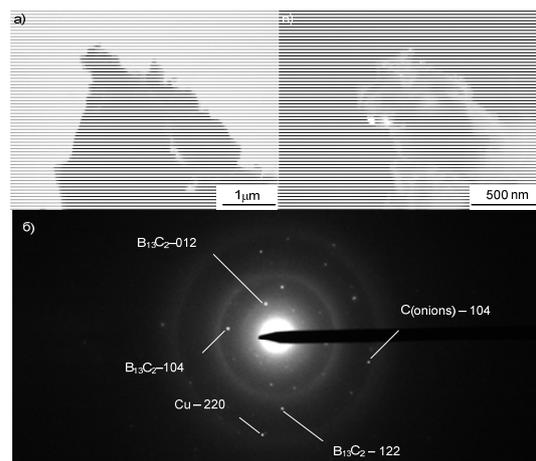


Рисунок 4 – ТЕМ-снимки (а, в) и соответствующая картина электронной дифракции (б) скопления частиц продукта

области (SAED) на рисунке 4б идентифицируются рефлексы, подтверждающие данные XRD. При смещении апертурной диафрагмы в область рефлекса плоскости 104  $B_{13}C_2$  получено темнопольное ТЕМ-изображение (рисунок 4в) со светящимися плоскостями, которые соответствуют этому рефлексу.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о возможности прямого динамического синтеза кристаллического наноструктурированного карбида бора в гиперскоростной струе боруглеродной плазмы. Получение нанодисперсного порошка карбида бора в гиперскоростной струе вероятно возможно при использовании КР большей длины и объема, обеспечивающей свободный разлет материала.

#### Литература:

1. F.J. Ribeiro, M.L. Cohen. Possible superconductivity in hole-doped  $BC_3$  // Physical review B. – 2004. – Vol. 69. – P. 1-4.
2. J. Yang, H. Sun, J. He, Y. Tian, C. Chen. Diamond-like  $BC_3$  as a superhard conductor identified by ideal strength calculations // Journal of physics: Condensed matter. – 2007. – Vol. 19. – P. 1-7.
3. B. Dong, F. Tian, D. Duan, X. Jin, T. Cui, G. Zou. Superconductive superhard phase of  $BC_7$ : Predicted via ab initio calculations // Diamond and related materials. – 2011. – Vol. 20. – P. 454-457.
4. C. Zhang, A. Alavi. Hydrogen absorption in bulk  $BC_3$ : A first-principle study // The journal of chemical physics. – 2007. – Vol. 127. – P. 1-2.
5. P.V. Zinin, L.C. Ming, I. Kudryashov, N. Konishi, M.H. Manghnani, S.K. Sharma. Pressure- and temperature-induced phase transition in the B-C system // Journal of applied physics. – 2006. – Vol. 100. – P. 1-6.
6. Пат. 24341947 РФ. 7F41B 6/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А. Сивков, А.Я. Пак. Приор. 30.04.2010. Опубликовано 20.10.2011.

## ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОРОШКА ТАНТАЛА

Швец И.А.<sup>1</sup>, Денисов К.И.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Дитенберг И.А.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н.

<sup>1</sup>Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/1

E-mail: [Shvets\\_ia@mail.ru](mailto:Shvets_ia@mail.ru)

Механическая активация (МА) в высокоэнергетических шаровых мельницах является перспективным методом модификации структуры металлических и композиционных материалов. При этом на текущий момент не разработано адекватной теоретической модели механизмов деформации и структурообразования в процессе МА, что свидетельствует об отсутствии должного внимания к исследованию эволюции микроструктуры материалов при интенсивном деформационном воздействии [1].

Как было показано в [2, 3] на примере порошка ниобия, МА тугоплавких материалов может быть эффективным методом модификации их структуры, обеспечивающей повышение механических свойств. В связи с этим, данный метод представляет интерес для материалов на основе тантала, которые, обладая хорошей пластичностью, коррозионной стойкостью и высокой температурой плавления, считаются перспективными для применения в медицине, атомной и космической технике [4].

Целью настоящей работы является исследование особенностей структуры и микротвердости порошка чистого тантала (99,99 %) после различной продолжительности МА в энергонапряженной планетарной шаровой мельнице АГО-2. Обработка проводилась в атмосфере аргона при центробежном ускорении шаров  $400 \text{ м/с}^2$  с использованием стальной гарнитуры. Исследование проведено с комплексным применением методов рентгеноструктурного анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии.

Электронномикроскопические исследования показали, что после 1 минуты МА размер отдельных порошинок составляет от нескольких десятков нанометров до сотен микрон (рис 1 а). Увеличение продолжительности МА до 5 минут приводит к измельчению порошинок до нескольких микрон с образованием из них конгломератов, достигающих в размерах нескольких десятков микрон (рис. 1 б).

По результатам анализа уширения пиков на рентгенограммах (рис. 2) установлено, что увеличение продолжительности МА от 1 до 5 минут обеспечивает существенное уменьшение размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) и рост уровня микроискажений (табл. 1), что свидетельствует о высоком уровне внутренних напряжений. Важным результатом является обнаружение на рентгенограммах дифракционных пиков железа (рис. 2), количество которого после

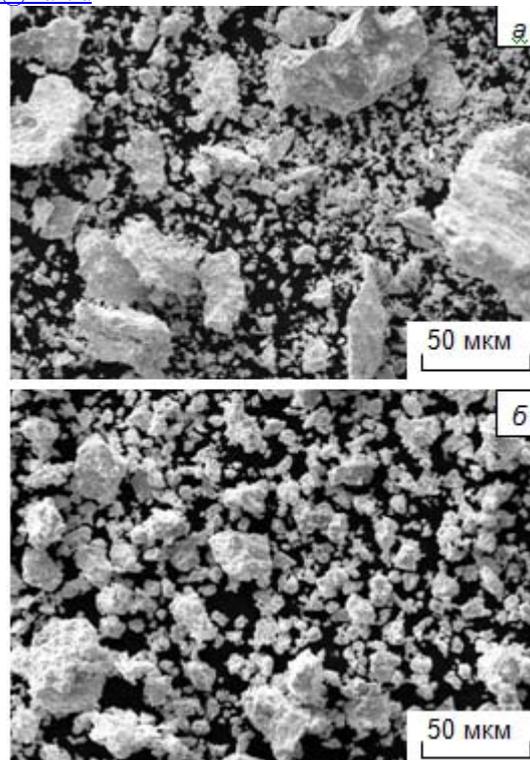


Рис.1. Порошок Ta после 1 (а) и 5 (б) минут МА  
1 минуты МА находится на уровне погрешности измерения, но с увеличением продолжительности обработки растет до 7 об.% после 5 минут МА, что связано с загрязнением обрабатываемого порошка элементами гарнитуры мельницы.

Микротвердость по Виккерсу ( $H_v$ ) крупных порошинок была измерена путем закрепления их в эпоксидном клее. Результаты измерения свидетельствуют о существенном упрочнении материала в процессе МА (табл. 1) и в несколько раз превышают средние значения микротвердости порошка до деформации (около 1.5 ГПа).

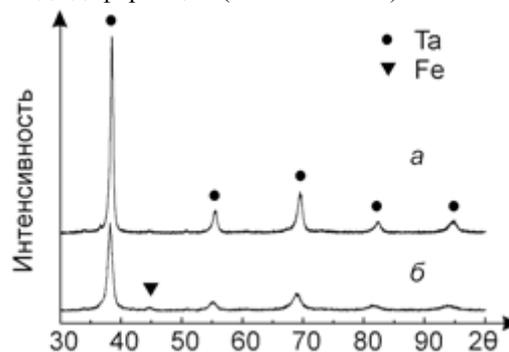


Рис.2. Рентгенограммы порошка Ta после 1 (а) и 5 (б) минут МА

Таблица 1. Микротвердость ( $H_v$ ), размер ОКР ( $L$ ), величина микроискажений решетки ( $\Delta d/d$ ) и фазовый состав порошка Ta после МА

T, мин	$H_v$ , ГПа	L, нм	$\Delta d/d$ , %	Ta, об %	Fe, об %
1	5-7	24,4	0,44	100	0
5	8-11	13,4	0,68	92,93	7,07

Как показали исследования, проведенные методом просвечивающей электронной микроскопии, в процессе МА в порошке формируются структурные состояния с высокой плотностью дефектов кристаллической структуры (рис. 3). Следует отметить, что, ввиду сложного характера электронномикроскопического контраста, светлопольные изображения не дают достаточно информации для количественной аттестации дефектной структуры объема и границ зерен, поэтому было проведено дополнительное исследование с применением методики темнопольного анализа дискретных и непрерывных разориентировок [5].

Установлено, что уже после 1 минуты МА в отдельных областях порошинок наблюдается формирование двухуровневых структурных состояний – нанозерна размерами менее 100 нм, содержащие субзерна размерами 5-15 нм с малоугловыми границами разориентации. В результате анализа перемещения контуров экстинкции при изменении угла наклона  $\varphi$  образца в гониометре (рис. 4) установлено, что значения кривизны кристаллической решетки в субзернах могут достигать сотен град/мкм. При этом следует заметить, что эти значения обусловлены наличием как непрерывных, так и дискретных (за счет малоугловых границ) разориентировок, вклады которых без детальных исследований разделить затруднительно. После 5 минут МА подобные состояния наблюдаются практически во всем объеме материала. Важным результатом является принципиальное подобие обнаруженных структурных состояний микроструктуре ниобия после аналогичной обработки [2, 3], что позволяет

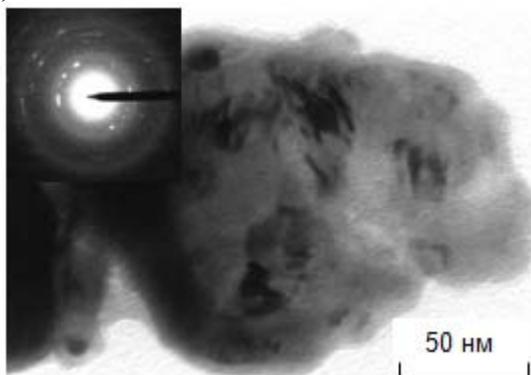


Рис. 3. Микроструктура порошка Ta после 5 минут МА

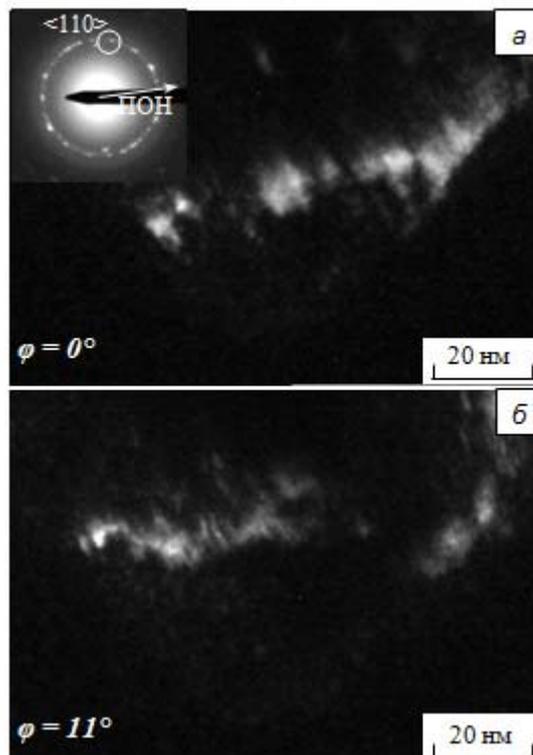


Рис. 4. Пример темнопольного анализа дефектной структуры порошка Ta после 5 минут МА предполагать действие общих механизмов деформации и структурообразования в металлах данного класса.

Таким образом, в процессе МА в порошке тантала формируются высокодефектные двухуровневые наноструктурные состояния, в которых упругая кривизна кристаллической решетки может достигать сотен град/мкм. Модификация внутренней структуры сопровождается измельчением порошка с образованием конгломератов и существенным увеличением микротвердости материала.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-85.2011.8) и междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 32. Использовано оборудование ТМЦКП ТГУ.

#### Список литературы

1. Suryanarayana S. Mechanical alloying and milling // Progress in Material Science. – 2001, – №46. – P. 1-184.
2. Денисов К.И., Дитенберг И.А. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 11/3. – С. 46-49.
3. Дитенберг И.А., Тюменцев А.Н., Денисов К.И., Корчагин М.А. // Физическая мезомеханика. – 2011. – №. 6. – С. 53-62.
4. Свойства элементов: Справ. изд./Под ред. Дрица М.Е. – М.: Металлургия, 1985. – 672 с.
5. Тюменцев А.Н., Коротаев А.Д., Пинжин Ю.П. // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. – № 4. – С. 35-53.

## РАЗРАБОТКА ПИЛОТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ МЕТАНА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Шибаев А.А., Шинкарев В.В., Попов М.В., Соловьев Е.А.

Научный руководитель: Шинкарев В.В., к.т.н., доцент  
Новосибирский государственный технический университет,  
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

E-mail: [gbit@bk.ru](mailto:gbit@bk.ru)

В настоящее время существуют разнообразные способы получения водорода. В промышленном масштабе используется паровой риформинг метана с последующим окислением CO в CO<sub>2</sub> и отделением последнего от водорода. Разделение не является качественно полным и не удовлетворяет условию использования водорода, полученного таким способом, в водородных топливных элементах. Водород является главным и основным сырьем в экологически чистой водородной энергетике.

Каталитический пиролиз углеводородов является альтернативным и экологически чистым способом получения свободного от оксидов углерода водорода и нановолокнистого углерода (НВУ). От неразложившегося углеводорода водород легко отделяется при пропускании смеси через неорганическую мембрану. В качестве катализаторов используют металлы VIII группы [1,2]. Данный процесс проходит в одну стадию при относительно низких температурах (500-700°C).

Были проведены экспериментальные исследования процесса пиролиза метана на различных Ni-содержащих катализаторах при температуре 600-650°C при различных давлениях до 3 атм. В качестве сырья использовали метан (99.9об.%). Эксперименты проводили при удельном расходе углеводородного газа 100 л/ч на 1 г катализатора.

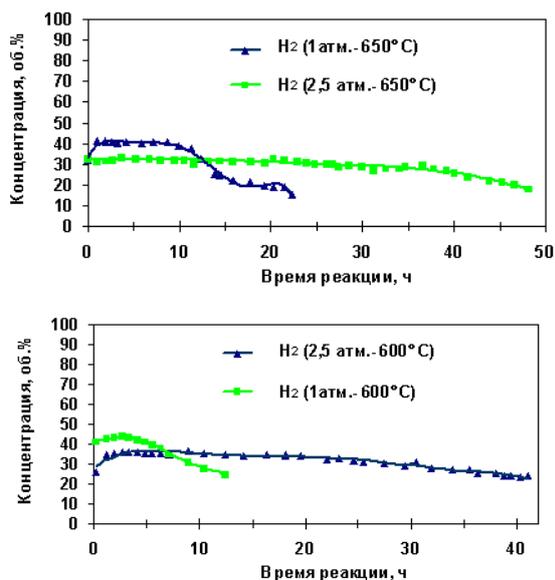


Рис. 1. Изменение объемных концентраций продуктов пиролиза CH<sub>4</sub> в зависимости от времени реакции на а) 82Ni-8CuO, б) 70Ni-20Cu

При проведении процесса каталитического разложения метана под давлением, катализатор

82вес.% Ni – 8вес.% CuO показал высокую стабильность. Концентрация H<sub>2</sub> составила не менее 24 об.% в течении 40 ч на катализаторе.

Увеличение содержание меди в катализаторе до 20вес.% позволило увеличить время жизни катализатора до 50 ч при T=650°C.

Полученные данные указывают на перспективу разработки принципиально новой высокоэффективной технологии получения водорода и НВУ каталитическим пиролизом углеводородов при температурах 600-650°C и повышенном давлении.

Следующим шагом на пути перехода к промышленному масштабу производства НВУ и водорода является создание пилотного реактора. При разработке нового реактора необходимо обеспечивать оптимальные условия протекания процесса, а также удобство работы с реактором и его безопасность.

Литературные данные указывают на существование большого разнообразия устройств установок для проведения низкотемпературного каталитического пиролиза углеводородов.

Наиболее распространенные виды установок включают в себя реактор с подогреваемой подложкой, вертикальный с неподвижным или «кипящим» слоем, вертикальный и горизонтальный с виброожиженным слоем.

Существующие промышленные реакторы с неподвижным слоем катализатора имеют существенный недостаток: отсутствие перемешивания, вследствие чего необходимо работать с очень тонкими слоями катализатора и, соответственно, получаемого НВУ (несколько миллиметров). Это приводит к громоздким конструкциям подобных реакторов (требуется большая площадь подложки для обеспечения большого выхода углерода). Это приводит к значительному удорожанию процесса. Также отсутствие перемешивания потенциально приводит к неравномерности распределения температур по слою (т.к. процесс идет с существенным поглощением тепла).

Вертикальные реакторы с «кипящим» слоем катализатора обеспечивают хорошее перемешивание и стабильную температуру в слое. Из недостатков необходимо отметить, что при таком виде «перемешивания» получаемые углеродные частицы сильно истираются и поэтому их качество оставляет желать лучшего. Дополнительно к этому для обеспечения режима псевдоожижения необходим большой расход питающего углеводородного газа через реактор. В случае осуществления рециркуляции (для обеспечения необходимого для

псевдооживления расхода газа) возникает проблема в разработке дорогостоящего вентилятора, который бы обеспечивал достаточный расход газа довольно низкой плотности в условиях высокой температуры в водородной среде.

Вертикальные реакторы с виброоживленным слоем, так же как и с неподвижным слоем просты в исполнении, но для промышленного применения негодны по причине того, что при увеличении высоты слоя нарабатываемого углеродного материала амплитуда колебания в слое уменьшается, а нижние слои подвергаются сильному истиранию под нагрузкой всей массы слоя. Повышенный шум и вибрация отрицательно сказываются на условиях труда.

В случае горизонтального исполнения реактора с виброоживленным слоем шум и вибрация так же являются отрицательными факторами. Еще одним недостатком является сложность управления движением слоя в горизонтальном реакторе с вибрацией.

В последнее время все больше внимания уделяется реакторам барабанного типа. Реактор такого типа позволяет более удобно осуществить непрерывное действие установки, при этом обеспечиваются почти все возможности реактора с «кипящим» слоем: равномерность прогрева стенок и слоя катализатора. Однако существуют и свои недостатки: при давлении выше атмосферного всегда существует угроза утечки газа через уплотнения между подвижными частями реактора (обеспечивающими вращение), а так как установка работает при повышенных температурах с взрывоопасным газом, то работа становится крайне небезопасной.

Нами были изучены достоинства и недостатки каждого типа реактора из существующих в литературных источниках. С их учетом разработана установка лишенная основных недостатков других конструкций. Спроектированная установка позволяет проводить процесс каталитического разложения при условии стабильности температуры в зоне реакции за счет смешения входящего свежего газа со средой внутри реактора до его контакта с катализатором. Стабильность температуры обеспечивается газоструйным инжектором, установленным внутри реактора вдоль его продольной оси.

Сама установка состоит из реактора, привода и печи. Реактор выбран барабанного типа, так как по

литературным данным в реакторах подобного типа обеспечиваются хорошие условия перемешивания. Главным отличием проектируемого реактора от реакторов, описанных в литературе, является то, что вращение реактора реверсивное. Это позволяет сделать соединения герметичными (избежать необходимости герметизации между подвижными частями) и проводить процесс при давлении выше атмосферного. Реверс обеспечивается конструкцией привода, которая имеет шатунный механизм. Мотор-редуктор вращает диск, который связан с большим шкивом установки (коромысло) шатуном. Большой шкив совершает колебательные движения. Угол колебания равен по расчетам 130 градусов. Вращение (реверс) меньшего шкива (на оси реактора) обеспечено ременной передачей с большим шкивом с передаточным числом равным 3. Таким образом, меньший шкив совершает оборот в 392 градуса. Затем меняет направление вращения. Реактор вращается неравномерно, с переменным ускорением. Максимальную скорость при вращении имеет в точке равной 196 градусов. Такая техника вращения дополнительно улучшает перемешивание слоя катализатора, а значит тепло- и массообмен.

Питающий углеводородный газ нагревается до необходимой для проведения процесса температуры (600°C) после прохождения подшипника и до входа в газоструйный инжектор. Таким образом, подшипники и места гибкого герметичного соединения всегда остаются в холодной зоне.

Теоретически существует возможность с небольшим изменением в конструкции реактора сделать установку непрерывного действия, но подобного рода решения требуют дополнительной проработки.

#### Литература:

1. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Zaikovskii V.I., Avdeeva L.B. Particularity of filamentous carbon formation in CH<sub>4</sub> decomposition on Ni - containing catalysts. Carbon 1998; 36(1):87-99.
2. Ermakova M.A., Ermakov D.Yu., Kuvshinov G.G. Effective catalysts for direct cracking of methane to produce hydrogen and filamentous carbon. Part I. Nickel catalysts. Applied-Catalysis A: General, 201 (2000), 61-70.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В СМЕСИ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА И УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА

Косицын В.С., Жерлицын А.Г., Шмелёв И.А.

Научный руководитель: Косицын В.С. науч. сотрудник

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2а ст11

E-mail: [igor.shmelev@inbox.ru](mailto:igor.shmelev@inbox.ru)

В данной статье представлено описание плазмохимической установки для конверсии метана в водород и наноуглерод. Рассматривается датчик водорода ДВ - 16 для определения концентрации водорода и его принципиальная схема подключения.

Экспериментальная установка для конверсии природного газа в водород и углеродный наноматериал состоит из СВЧ - плазмотрона с активной системой иницирования разряда, обеспечивающей устойчивую работу с комбинированной (метан – азот) плазмообразующей средой и реакторной камеры с катализатором. Такая компоновка расширяет функциональные возможности установки для исследования влияния на процесс конверсии как отдельно катализатора и плазмы СВЧ - разряда, так и их совмещенного действия [1,2].

Схема установки показана на рисунке 1. В плазмотроне использовался магнетрон с выходной регулируемой мощностью 5 кВт, рабочей частотой 2,45 ГГц.

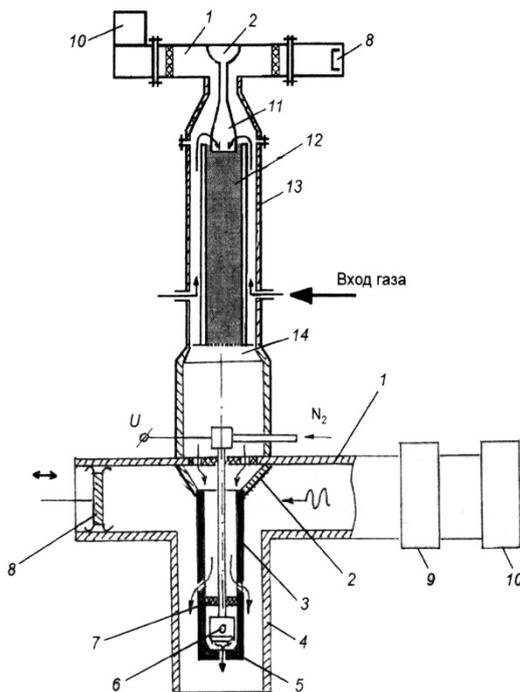


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – волновод; 2 – ВКП; 3 – внутренний проводник коаксиала ВКП; 4 – внешний проводник коаксиала ВКП; 5 – сопло; 6 – высоковольтный электрод; 7 – газонепроницаемая электроизолирующая перегородка; 8 – короткозамыкающий поршень; 9 – ферритовый циркулятор; 10 – СВЧ - генератор (магнетрон); 11 – система ввода СВЧ - энергии в катализатор; 12 – кварцевая труба с катализатором; 13 – камера с катализатором; 14 – промежуточный газовый объем

Работа СВЧ - плазмотрона подразделяется на следующие этапы:

1) В зону разрядного промежутка через полый высоковольтный электрод 6 подается азот (рабочий газ) и от источника высокого напряжения поджигается электрический разряд типа тлеющего, создавая начальную концентрацию плазмы, достаточную для иницирования СВЧ - разряда.

2) Через внутренний проводник 3 волноводно-коаксиальный перехода (ВКП) подается метан в зону разряда и включается СВЧ - генератор, возбуждая в волноводе 1 волну  $H_{10}$ , трансформировавшуюся в волну ТЕМ коаксиальной линии ВКП. Эта коаксиальная линия, имеющая укороченный внутренний проводник 3, переходит в круглый волновод, образованный внешним проводником 4 коаксиала  $\varnothing 40$  мм. За счет создания критического режима волны  $H_{11}$  в круглом волноводе при рабочей длине волны  $\lambda_0 = 12,45$  см в зоне сопла 5 на конце проводника 3 резко увеличивается напряженность электрического поля и зажигается СВЧ - разряд. Процесс идет таким образом, что вспомогательный разряд горит в атмосфере азота, а основной СВЧ - разряд – в атмосфере природного газа. При таком разделении газовых потоков осуществляется устойчивый СВЧ - разряд, в котором метан конвертируется в водород и углеродный наноматериал.

3) Продукты собираются в соответствующих сборниках, входящих в состав установки. На выходе образуется водород, углеродосодержащие газы и различные углеродосодержащие материалы (нанотрубки, аморфный углерод и т.д.) и оставшийся метан. Азот в качестве инертного газа в плазмотроне был выбран потому, что он, по сравнению с другими инертными газами, способствует увеличению степени конверсии природного газа [3].

Степень конверсии метана можно определить по выходу водорода. Анализ газовой смеси получают с помощью хроматографа. Однако этот способ требует достаточно громоздкой и дорогой аппаратуры. Время, необходимое для такого анализа, во многих задачах слишком велико, поэтому рекомендовать подобную методику можно лишь в качестве образцового средства измерения. А нам необходимо регистрировать протекание реакции во времени, что позволяют сделать датчики концентрации или газоанализаторы.

Газоанализаторы позволяют определить концентрацию газов от 0 до 100%. Но газоанализаторы определяют концентрации нескольких газов одновременно. Для наблюдения же за динамикой эксперимента достаточно определения концентрации водорода, а не всех газов. Это позволяет сделать обычный датчик водорода.

При выборе датчика водорода возникли некоторые трудности, так как основная масса датчиков производится для регистрации взрывоопасных

концентраций водорода, а это 1 – 3%. В нашем случае концентрация водорода при конверсии природного газа составляет 10 – 40% при полном отсутствии кислорода в объеме реакторе. Для работы с такими концентрациями был взят датчик ДВ – 16, который может регистрировать линейную концентрацию до 40%.

Полярографический датчик водорода ДВ – 16 – это универсальный тип электрохимических датчиков с жидким электролитом. Сенсоры водорода преобразуют парциальное давление водорода ( $p_{H_2}$ ) в газовых смесях в электрический аналоговый сигнал постоянного тока. Достоинство данного вида датчиков в том, что они имеют малые размеры электрода, что дает возможность создать сенсор с малыми габаритами. К недостаткам такого датчика можно отнести то, что время реакции в

единицах секунд, а время выхода на режим до 15 минут [4].

Прежде чем датчик ввести в эксплуатацию, его калибруют по показаниям хроматографа и только потом подключают к плазмохимической установке.

На рисунке 2 показана принципиальная электрическая схема включения датчика водорода, которая подключается непосредственно к выходному отверстию смеси газов. Эта смесь газов обязательно должна пройти через каскад фильтров для очищения от наночастиц углерода. Так как при попадании частиц на датчик он может выйти из строя.

С целью сравнения результатов измерений хроматографа и датчика водорода в таблице 1 приведены данные по нескольким проведенным экспериментам.

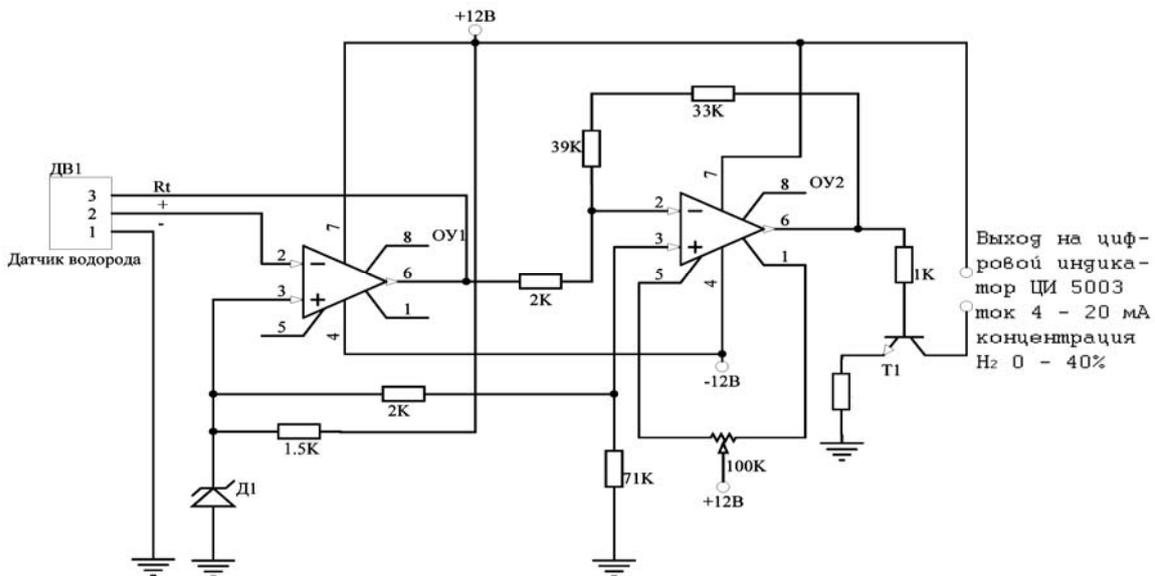


Рисунок 2. Схема подключения датчика водорода

Концентрации водорода хроматографа и датчика ДВ -16

№	Хроматограф, %	Датчик водорода, %
1	10,398	10,4
2	14,657	15,0
3	16,265	16,11
4	17,025	16,91
5	18,541	18,5
6	20,163	19,9

Из таблицы видно, что данные отличаются лишь на небольшую погрешность – в десятые доли процентов. Следует заметить, что показания хроматографа и датчика водорода взяты в разное время работы установки, что также объясняет отклонение показаний датчика от показаний хроматографа.

Эксперимент подтвердил, что для качественной оценки динамики процесса конверсии природного

газа достаточно использовать в качестве инструмента – датчик водорода.

#### Список литературы:

1. Жерлицын А.Г., Шиян В.П., Косицын В.С. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2010. - №10/2. – С.270 – 274.
2. Жерлицын А.Г., Медведев Ю.В., Шиян В.П., и др. Устройство для плазмохимической конверсии углеводородного газа // Патент РФ № 2393988. Опубл. 10.07.2010 г. Бюл. № 19.
3. Savinov S.Y., Lee W.-J., Chen C.-Y. et al. The effect of vibrational excitation of molecules on plasmachemical reactions involving methane and nitrogen // Plasma Chemistry and Plasma Proc. – 2003. – V.23. – N1. – P.159-173.
4. <http://www.insovt.ru/h2sensors/>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В СУСПЕНЗИЯХ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА ЦИНКА

Юнда Е.Н.<sup>1</sup>, Миляева С.И.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Годымчук А.Ю.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент ТПУ

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр.Ленина, 30

<sup>2</sup> НИТУ «МИСиС», Россия, 119049, г. Москва, Ленинский пр., 2

E-mail: [eny@tpu.ru](mailto:eny@tpu.ru)

### ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

При переходе в наноразмерную область многие вещества кардинально меняют свои химические, физико-химические и биологические свойства [1, 2], что определяет направления их использования. Нанопорошки оксида цинка (ZnO) широко применяются в технологии получения керамики, переработки каучука и очистки сточных вод, а также как противогрибковое средство [3]. Благодаря способности поглощать ультрафиолетовое излучение наночастицы ZnO могут использоваться при изготовлении косметических средств, в частности, солнцезащитных кремов [4].

В то же время литературные данные показывают, что микро- и наночастицы ZnO способны оказывать токсическое воздействие при накоплении в клетках и тканях живого организма. Например, при попадании в организм через дыхательные пути наночастицы ZnO могут вызывать общетоксическое и раздражающее действие респираторного тракта [5-7]. Однако недостаток сведений о физико-химических свойствах суспензий, образуемых наночастицами при их попадании в биологические жидкости, не позволяет разрабатывать адекватные методы токсикологических испытаний наноматериалов. Поэтому **целью данной работы** являлось изучение стабильности суспензий на основе нанопорошков, образуемых в физиологических жидкостях.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования являлись нанопорошки ZnO со средним диаметром частиц 20-120 нм (ZnO-20, «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.», США) и 30-350 нм (ZnO-220, «Эмпилс-Цинк», РФ). Частицы ZnO-20 преимущественно представлены в виде наносфер, частицы ZnO-220 - в виде более сложных фигур - нанокластеров и нанопрутьев. Размер и форму частиц определяли с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Частицы не склонны к агрегации при хранении.

Согласно литературным данным стабильные наночастицы посредством разных механизмов способны достигать самых удаленных участков респираторного тракта – бронхиол и альвеол [1]. Поэтому в ходе эксперимента готовили суспензии на основе трех физиологических растворов: альвеолярной жидкости (AIF), лимонной (LEA) и аминокислотной (АМА) кислот, являющихся неотъемлемыми компонентами легочных жидкостей (табл. 1.).

Таблица 1

Состав физиологических растворов

Составляющие, г/л	AIF	LEA	АМА
NaCl	3,210	3,210	3,210
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,071	0,071	0,071
CaCl <sub>2</sub>	0,096	-	-
КОН	6,000	-	-
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	20,800	20,800	-
H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> COOH	0,059	-	0,059
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Na <sub>3</sub> O <sub>7</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,077	-	-
C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,090	-	-
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> O <sub>3</sub> Na	0,086	-	-
pH	4,46	4,72	7,60

Суспензии (концентрация 2,5 %) готовили перемешиванием в течение 30 минут. Стабильность суспензий оценивали по изменению и величине электрокинетического потенциала (дзета-потенциала) на границе «твердое тело-жидкость», определяемого с помощью электроакустического спектрометра Zeta-APS (Matec Applied Sciences, США).

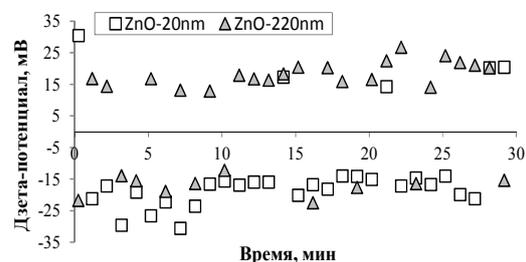


Рис. 1. Изменение  $\zeta$ -потенциала в AIF-суспензиях

Установлено, что абсолютная величина  $\zeta$ -потенциала для всех суспензий варьируется в диапазоне [-35...35] мВ. Однако, его значение в большей степени (на 90 % измерений) для ZnO-20 – отрицательно, а для ZnO-220 – положительно. Для примера на рис. 1 показано распределение значений  $\zeta$ -потенциала в AIF-суспензиях.

В табл. 2 приведена сравнительная характеристика исследуемых суспензий. Поскольку  $\zeta$ -потенциал пропорционален заряду коллоидной частицы, агрегативная устойчивость таких систем будет возрастать с увеличением его величины. Поэтому очевидно, что с уменьшением размера частиц стабильность суспензий для наночастиц цинка будет повышаться, а заряд поверхности будет увеличиваться. В целом можно сказать, что в

исследуемых системах степень диспергирования не высокая, т.к. среднее значение заряда в большинстве случаев не превышает 20 мВ.

Таблица 2  
Электрокинетическая характеристика суспензий

№ п/п	Суспензия	Значение $\zeta$ -потенциала, мВ	Стандартное отклонение	
1.	AlF	ZnO-20	-18,9	4,1
2.		ZnO-220	11,5	3,7
3.	LEA	ZnO-20	-26,4	6,6
4.		ZnO-220	10,1	6,6
5.	AMA	ZnO-20	-13,2	2,9
6.		ZnO-220	14,1	3,0

В ряду «AlF-LEA-AMA» значение  $\zeta$ -потенциала и стандартного отклонения меняется неоднозначно. При этом наиболее стабильные системы характерны для ZnO-20 в LEA-суспензии, а для ZnO-220 для AMA-суспензии, что не объясняется концентрацией электролитов растворах, но может объясняться адсорбцией анионов кислот разного размера. Чем больше размер иона (например, у LEA), тем сильнее будет сжиматься ДЭС коллоидной мицеллы, тем более стабильной будет коллоид.

Образование стабильных дисперсных систем в биосреде, с одной стороны, не приводит к коагуляции и накоплению агрегатов твердых частиц в тканях и органах. С другой стороны, для стабильных частиц характерна более высокая миграционная активность, т.к. они способны всасываться эпителием, попадать в кровеносную систему и разноситься по организму.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, согласно полученным результатам значение  $\zeta$ -потенциала неоднозначно изменяется во времени для субмикронных и наноразмерных порошков ZnO в дисперсных системах на основе простейших физиологических растворов. Суспензии на основе наноразмерных порошков ZnO оказались стабильнее в сравнении с микронным ZnO-220.

Такие данные позволяют утверждать, что субмикронные порошки оксидов цинка при взаимо-

действии с биологическими средами способны оказывать механические повреждения клеткам живых организмов. В случае нанопорошков могут образовываться достаточно устойчивые коллоидные системы, которые, с одной стороны, снижают риск механического воздействия, с другой стороны, повышают миграционную активность наночастиц, создавая условия взаимодействия нанобъекта с биологической средой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Involving from Studies of Ultrafine Particles // *Environmental Health Perspectives*. – 2005. – V.113. – № 7. – P.823-839.
2. Sahoo S.K., Parveen S., Panda J.J. The present and future of nanotechnology in human health care // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. – 2007. – № 3. – P. 20–31.
3. Wang X., Lu J., Xu M., Xing B. Sorption of pyrene by regular and nanoscaled metal oxide particles: influence of adsorbed organic matter // *Environmental Science and Technology*. – 2008. – P.7267–7272.
4. Seshadri R. Oxide nanoparticles. In: Rao C.N.R., Muller A., Cheetham A.K. (eds). *The chemistry of nanoparticles: synthesis, properties and applications* // Wiley, Weinheim. – 2004. – P.94–112.
5. Beckett W.S., Chalupa D.F., Pauly-Brown A., Speers D.M et al. Comparing inhaled ultrafine versus fine zinc oxide particles in healthy adults: A human inhalation study // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. – 2005. - №171. – P.1129–1135.
6. Lam H.F., Conner M.W., Rogers A.E., Fitzgerald S. et al. Functional and morphological changes in the lungs of guinea pigs exposed to freshly generated ultrafine zinc oxide. *Toxicology and Applied Pharmacology*. – 1985. – № 78. – P.29–38.
7. Hackenberg S., Scherzed A., Technau A., Kessler M. Cytotoxic, genotoxic and pro-inflammatory effects of zinc oxide nanoparticles in human nasal mucosa cells in vitro // *Toxicology in Vitro*. – 2011. – V.25. - №3. – P.657-663.

---

---

## **СЕКЦИЯ 13**

---

---

# **КРУГЛЫЙ СТОЛ «ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ»**



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДЕТЕРМИНИЗМА

Абдрозяков С.Д., Жидков А.В.

Научный руководитель: Степанов А.А., д.фил.н., профессор  
Томский государственный педагогический университет,  
634061, Россия, Томская обл., г. Томск, Ул. Киевская 60  
E-mail: [seriydelf@sibmail.com](mailto:seriydelf@sibmail.com)

Аннотация:

В статье раскрываются смысловые аспекты понятий «техника» и «информационные технологии» в рамках современного гуманитарного знания. Особое внимание уделяется концепции технологического детерминизма. Раскрывается роль концепции технологического детерминизма в понимании современных процессов в обществе, науке и технике.

Ключевые слова: *научно-технический прогресс, техника, информационные технологии, технологический детерминизм.*

Современное гуманитарное знание называет наше время эпохой второй промышленной революции. Для многих исследователей стало сегодня очевидным, что понимание общественных процессов сегодня неразрывно связано с пониманием проблем научно-технического прогресса. Это обусловлено тем, что если раньше влияние техники ограничивалось во многом сферой производства материальных благ, то сегодня это влияние пронизывает всю жизнь человека. Это и высокотехнологичная медицина и средства связи и т.д. Качественные изменения в социальных отношениях, которые влечёт за собой научно-технический прогресс, приводят нас к необходимости социально-философского осмысления этих процессов.

Следует отметить, что современный уровень развития техники приводит к невозможности использования её классических философских определений в современном научном дискурсе. В античном понимании термина «тэхнэ» под техникой подразумевалось некое искусство или технология, но не их продукт – некое техническое устройство. В современной философии с момента появления работы Хайнриха Бэка «Сущность техники» техника воспринимается уже как некие технические устройства, созданные человеком[1]. Хайнрих Бэк в своей работе отмечает, что всё, что мы называем техникой, относится к неорганической материи. В этом определении сделана попытка четко отделить технические устройства от живых организмов[1]. Эрнст Капп подчеркивает, что человек – изобретатель (*Homo faber*) создает нечто не имеющее аналогов в природе[2].

Также, отделяется понятие техники от понятия технологии. Дж. П. Грант говорит о том, что технология не столько некий инструмент, сколько представления о мире, которое руководит восприятием учёного. Учёный изначально выбирает некую технологию как способ создания неких технических устройств, инструментов и т.д.[3].

В то же время, современная техника и в частности кибернетика всё больше стремится воспроизводить особенности строения и функционирования живых организмов. В частности, создаются кибернетические устройства, которые на основе компьютерного

моделирования воспроизводят функционирование живых организмов. Также создаются элементы протезирования, покрытые органической оболочкой и другие устройства, использующие органические ткани. У. Грей Уолтер в своей работе «Имитация живого организма» отмечает, что совмещение органического и неорганического – наиболее перспективный путь развития техники будущего[4]. А значит, определение техники как чего-то неорганического, отличного от живых организмов, оказывается устаревшим. Коренным образом пересматриваются и другие традиционные понятия и концепции, сложившиеся в социальной философии и философии техники.

В первую очередь это концепция технологического детерминизма, представленная в работах Ж. Фурастье, Э. Тоффлера, З. Бжезинского Д. Белла, Г. Канэ, Б. Брюса-Бричса, Е. Моссуды, А. Турена и др. Важнейшим положением этой философской концепции при всём многообразии её конкретных теоретических воплощений становится обозначение техники как некоего регулятивного элемента социальных процессов. Все теоретические построения данного теоретико-методологического подхода направлены на то, чтобы показать зависимость всех сфер человеческой жизнедеятельности от научно-технического прогресса. Научно-технический прогресс понимается сегодня представителями технологического детерминизма в рамках двух методологических подходов:

-Технологический эвдемонизм (от греч. *evdaimonia*—счастье, блаженство) – научно-технический прогресс автоматически устраняет все социальные конфликты. Поскольку, как отмечает Дж. Кейнс, техника создана для удовлетворения витальных потребностей человека, он может перейти к удовлетворению высших потребностей – эстетических, социальных и т.д..

-Технологический алармизм (от фр. *alarmiste* —тревога, беспокойство) – научно-технический прогресс есть фактор дегуманизирующий социальные процессы. В рамках этого подхода Г. Маркузе и Т. Адорно говорят о том, что человек слишком увлечен техническим прогрессом и стал «рабом техники».

Таким образом, в работах представителей технологического детерминизма с одной стороны рассматриваются достижения научно-технического прогресса как негативный фактор, с другой стороны формулируются утопические концепции постиндустриального общества, процветающего в техническом раю. Но, так или иначе, человек в этих концепциях становится автоматизированной единицей постиндустриального общества, прикованной к технике. Как отмечает Е.В. Буданцева, в рамках конвергенции различных парадигм в философии техники наиболее очевидна стала тенденция, обозначенный Ж.П. Дюпьи – принцип предосторожности[5].

Ж.П. Дюпьи говорит в своих работах о том, что техника значительно расширила функциональные возможности человека, но его ответственность за изменения в природе при этом не выросла. У современного человека, с точки зрения Ж.П. Дюпьи отсутствует моральный императив, который позволял бы человеку успешно взаимодействовать с техникой, не становясь её рабом и не преувеличивая её возможности[5]. Получая новую технологию, которую можно было бы использовать во благо, человек стремится создать на её основе новую систему вооружения. Так произошло, например с атомной энергетикой.

Очень популярным в последнее время стал термин «инновационные технологии». С точки зрения А. Эверса, данный термин имеет амбивалентный характер. С одной стороны, инновационные технологии дают надежду на решение актуальных проблем человечества, с другой стороны инновационные технологии характеризуются непредсказуемостью последствий их применения. Получается, что инновационные технологии постоянно создают новые риски для общества[6].

Таким образом, несмотря на большую палитру мнений современных исследователей, придерживающихся концепции технологического детерминизма, у всех этих теорий есть единое методологическое основание – понимание техники как некой сущности уже давно вышедшей из под контроля общества[6]. Абсолютизируется самостоятельность техники как социального феномена. Ярким примером влияния техники на социальные

процессы является автомобилестроение. Автомобиль создан человеком для удовлетворения комплекса потребностей, например в ощущении превосходства над другими субъектами. То, что автомобиль есть у всё большего количества людей приводит как к ухудшению криминогенной обстановки (кражи, мошенничества, угоны), так и экологической ситуации. Удовлетворение одних потребностей через технику приводит к появлению других потребностей, которые опять удовлетворяются при помощи техники – системы сигнализации, нейтрализаторы выхлопных газов и т.д. Огромное влияние техники на общество безусловно, но какие бы концепции техники не создавали современные ученые, без техники общество уже не обойдется. А пока существует техника будут создаваться и новые концепции технологического детерминизма.

#### Список литературы:

1. Бек Х. Сущность техники / Философия техники в ФРГ.- М.: Наука, 1989. – С. 176-192.- 389с.
2. Горохов В.Г. Техника и культура: возникновение философии техники и теории технического творчества в России и Германии в конце XIX – начале XX столетия.- М.: Логос, 2009 - 376 с.
3. Ритцер Дж. Современные социологические теории. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2002. — 688с
4. Уолтер У. Г. Имитация живого организма.- Изд. АН СССР, 1961 – 150с.
5. Буданцева Е.В. Общество инноваций vs Общество риска: релятивизация риска и нравственные константы. // Конструирование человека: сборник трудов IV Всероссийской научной конференции с международным участием: в 2т. Т.1.- Томск.: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2011.- С. 175-177.- 400с
6. Жукова Е.А. Человек в плену Ни-Нуме // Вестник Томского гос. пед. ун-та, 2007, Вып.- 11 (74), Серия: Гуманитарные науки (Философия). – С. 29-36.-150с.

## ИСКУССТВЕННЫЙ РАЗУМ – ВЗГЛЯД В НЕДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ

Абрамичев В.Г.

Научный руководитель: Цой Ю.Р., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [descord@tpu.ru](mailto:descord@tpu.ru)

### Введение.

Один из основных вопросов философии – «что есть человек и человеческий разум». Вики-энциклопедия определяет человека, как «существо, обладающее волей, разумом и высшими чувствами»[1]. Но чем человек отличается от животного? Почему именно человек остается единственным видом на планете, способным задаваться этими вопросами и искать на них ответы? Если ответ кроется в наличии воли, то контраргументом могут служить случаи подавления воли человека, когда он действует инстинктивно, «как животное». Наличие разума, так же не делает человека уникальным на нашей планете. Различие умственных показателей разных людей так же вызывает массу вопросов. Что заставляет человека принимать те или иные решения? Почему люди действуют по-разному в одинаковых ситуациях?

Для ответа на эти вопросы нужно заглянуть в структуру нашего мозга. Мозг определяется как «физическая и биологическая материя, содержащаяся в пределах черепа и ответственная за основные электрохимические нейронные процессы». Данный механизм является результатом эволюции миллионов видов, начиная от амебы, отплывающей от кристалла соли, и заканчивая человеком, обладающим органами чувств, абстрактным мышлением и сложной комбинацией ассоциативной, генетической и кратковременной памяти. Установлено, что мозг представляет собой сложнейшую нейронную сеть - скопление нейронов, соединенных между собой, каждый из которых имеет множество входов и один выход. Благодаря своим отросткам и синапсам, нейроны вступают в многочисленные контакты друг с другом. Число контактов одной клетки с другими может достигать до 6000. Нейросеть производит и обрабатывает огромное количество логически связанных электрохимических импульсов. Нейрон реализует достаточно простую передаточную функцию, позволяющую преобразовать возбуждения на входах, с учетом весов(синапсов) входов, в значение возбуждения на выходе нейрона.

Для моделирования полноценной "производительности" коры головного мозга человека учёным понадобится сложная система, имитирующая порядка 20 млрд. нейронов и 200 трлн. синапсов.

Идея создания искусственного мозга или прибора, сравнимого с мозгом человека по производительности, давно будоражит умы ученых. Главное преимущество подобных систем - быстроедействие, возможность обучаться и адаптироваться к новым ситуациям. Такой эффект достигается за счет параллелизма и интегрированной ассоциативной памяти. Реализация данных функций явля-

ется очень сложной задачей в виду кардинальных различий архитектуры нейрокомпьютера и классической архитектуры фон-Неймана. Существует множество удачных реализаций нейрокомпьютеров, в том числе и российских.

В 2009 году IBM, совместно с университетом Стэнфорда, был изготовлен чип NeuroGrid на основе ПЛИС, в котором была реализована сеть из более чем миллиона нейронов(16 чипов по 65 536 нейронов в каждом)[4].

DARPA - Агентства передовых оборонных исследовательских проектов США – вложило в разработку чипа с когнитивными возможностями \$21 млн. Проект SyNAPSE направлен на создание вычислительной системы, функционирующей по принципу живого мозга [3]. Проект был назван лучшей инновацией 2011 года.

Политехнический университет города Лозана, начиная с 2006 года, ведет проектом «Blue Brain». Ученым удалось симулировать отдельные узлы мозга грызуна из 10тыс. нейронов на суперкомпьютере IBM BlueGene/P. За время существования проекта на нем было поставлено около 15 тыс. экспериментов. В настоящее время проект, входит в состав исследовательской группы «Human Brain Project» финансируемой Европейским сообществом.

Британские ученые из Университета Ридинг создали первого в мире робота с органическим мозгом размером от 50 до 100 тыс. нейронов, которые были получены из эмбрионов крыс. Клетки разъединили при помощи раствора ферментов и высадили на квадратной схеме, содержащей 60 электродов. Посредством массива контактов, живая ткань получает сигналы от датчиков робота, передающих информацию об окружающей среде. Ученые полагают, что наблюдение за развитием полуживого робота поможет им что-нибудь узнать и о работе мозга *Homo Sapiens*. [6]

Как видно, реальных результатов можно ожидать уже через несколько лет, но о создании настоящего искусственного разума, пока говорить не приходится. Прежде, в него нужно вдохнуть жизнь и научить жить в окружающем мире. Современной науке известны сотни способов обучения нейронных сетей, однако, для системы, содержащей порядка триллиона синапсов, такая задача является нетривиальной.

Стоит отметить важность такого аспекта, как постоянство значений синапсов и наращивание нейронов. Именно этот фактор определит структуру сети, способ обучения и дальнейшее функционирование. В случае, когда сеть статична, система не будет обучаться во время функционирования. Способ обучения такой системы очень прост, и

называется «Обучение с Учителем» - мы учим систему реагировать на определенные внешние условия так, как считаем правильным, а система следует этим правилам. Данный вариант позволяет избежать непредвиденных последствий и подходит для систем с ограниченной или специализированной функциональностью, но требует составления массива правил (обучающей выборки), что является не менее трудоемкой задачей, чем разработка самой системы. В таком случае, представляется более простым для реализации разделение нейросети на отдельные, малые, сети, которые проще обучить и отслеживать их функционирование, однако это потребует более глубокого понимания структуры системы.

В случае, если связи изменяемы, открываются самые захватывающие способности нейросети – обучаемость в реальном времени и «самообучаемость». Система адаптируется к внешним условиям путем запоминания удачных и неудачных реакций на некоторые условия. В животном мире удачной можно считать реакцию, обеспечившую выживание, насыщение или удачный выбор партнера. Неудачные реакции приводят к усталости, боли или даже смерти. Но искусственному разуму не нужно питаться или искать партнера. Выбор жизненной цели, критерия, по которому система сможет оценивать свою успешность, предопределяет дальнейшее развитие системы. Например, критерием может быть полезность человеку. При выполнении работы система будет получать «пряник» или «кнул», в зависимости от реакции. Или, в более неявном виде, суммировать благодарности и жалобы пользователей. Обучение такой системы похоже на дрессировку домашнего животного.

Важно упомянуть ассоциативную память. Механизмы запоминания компьютера основан на хранении последовательностей бит - нулей и единиц. В зависимости от заранее оговоренной логики, последовательностью бит можно описать изображение, звук, информацию или даже запах. Живой мозг не хранит информацию, а лишь запоминает образы, поступающие от органов чувств. Механизм памяти до конца не изучен. Предположительно, в её основе лежат циклические структуры нейронов, которые образуют подобие логических ячеек[7]. Данные ячейки, в свою очередь, образуют подобие семантической сети[6], которая разрастается по мере поступления новых образов.

Не стоит забывать об эволюции и накопленной многими поколениями генетической памяти. Как-то часть информации о внешнем мире и о том, как выжить в нем первые мгновения, заложена в нас с самого рождения. Чтобы для «новорожденного» искусственного разума мир не был полным сюрпризом, нужно предварительно обучить опре-

деленные части системы, а возможно, даже сделать их статичными. Это не мешает системе обучаться, но ограничит от возможных проблем. Эти области будут определять «рамки дозволенности» и основные функции. К примеру, в них могут быть записаны 3 закона робототехники.

Как видно, этап обучения искусственного разума – наиболее фантастичная и туманная часть всего процесса. На что она будет похожа: на программирование, дрессировку собаки или воспитание ребенка – будет зависеть только от того, насколько глубоко мы сможем изучить и понять наш собственный мозг. Стоит также отметить, что процесс изучения мозга и попытка его симуляции являются взаимно зависимыми, и прогресс в одной области, будет непременно сказываться на прогрессе в другой.

#### **Вывод:**

Мир не стоит на пороге создания искусственного разума. Пройдет еще пара лет, прежде чем компьютер сможет пройти тест Тьюринга, и не менее десятка лет, прежде, чем человек сможет поставить искусственный интеллект на один уровень с собой. Будет ли это настоящий разум, способный созидать и творить, или же просто имитация? Ответы на все эти вопросы мы узнаем уже скоро.

#### **Список Литературы:**

1. Вики-словарь, веб-ресурс (язык Русский). - URL: <http://ru.wiktionary.org/wiki/человек>
2. Миркес Е. М., Нейрокомпьютер. Проект стандарта. — Новосибирск: Наука, 1999. — 337 с.
3. Официальная страница проекта SyNAPS на сайте DARPA(язык Английский). - URL: <http://www.darpa.mil>
4. Официальная страница проекта NeuroGrid университета Стенфорд(язык Английский). - URL: <http://www.stanford.edu>
5. Пресс релиз проекта «Робот Гордон» Университета Ридинга(язык Английский). - URL: <http://www.reading.ac.uk/>
6. SemanticNetworks – статья из Энциклопедии Искусственного Интеллекта(язык Английский) - JohnF. Sowa - URL: <http://www.jfsowa.com>
7. Текст презентации профессора В.Л. Дунина-Барковского на конференции "Заимствованные у биологии когнитивные архитектуры - 2011" (BICA 2011), 5-6 ноября 2011, Арлингтон, США (язык Русский) – URL: <http://rebrain.2045.ru/bre/29198.html>

## ФИЛОСОФСКИЙ ВЗГЛЯД НА НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ И СТАТУС АГРОИНЖЕНЕРА В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Букатин А.Д.

Научный руководитель: Полещук Л.Г., к.филос.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета,  
652055, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: [kgoutitpu@rambler.ru](mailto:kgoutitpu@rambler.ru)

Кадры – составная часть совокупного национального богатства. Это неисчерпаемый ресурс любой страны. Очевидно, что инновационный путь развития России связан с инвестициями в человеческий капитал. Характерной чертой современной кадровой политики в нашей стране должно стать, как отмечают исследователи, «максимальное предоставление возможностей для раскрытия своего таланта и обеспечения общего успеха через «окультуривание» профессиональной среды» [1, с. 52]. Само «окультуривание» предполагает учет не только интеллектуальных и профессиональных способностей, но «добродетельности мировоззрения» [1, с. 55] кадрового состава различных производств.

Таким образом, вкладывая средства в обучение профессиональных кадров, государство, с одной стороны, создает важнейший «элемент... повышения конкурентоспособности нации» [2, с.50]. В качестве образца для политики государства в области обучения часто называют «русскую инженерную подготовку начала XX в., совмещающую обучение с элементами профессиональной работы» [2, с.50].

Между тем, инженер был ключевой фигурой производства, лишь до середины XX века, когда «расширяющееся индустриальное производство было основой государственных доходов и государственной политики» [2, с.48]. Причем, «народное хозяйство» являлось «отражением национально-государственных границ» [2, с.48].

Новый постиндустриальный хозяйственно-экономический уклад второй половины XX века (ядром которого стали экономика и производство знания, технологий) теперь зависит от меры изменения источников и каналов распространения знаний. Иными словами, «экономика все в большей и большей степени начинает рассматриваться как эффект вовлеченности национального хозяйства в процессы... развития глобальных структур. Предметом обмена и кооперации между странами... становятся услуги, связанные с ...разрешением мировых проблем» [2, с.49].

Одна из таких – обеспечение населения планеты продуктами питания. Более того, решение продовольственной задачи – по-прежнему является стратегической любого национального государства. Так одной из предпосылок кризиса СССР исследователи называют угрозу продовольственной безопасности, нависшей над страной в связи с резким падением в 1985г. цен на нефть. Вырученная

от ее продажи валюта шла на закупку зерна. Являясь крупным импортером (15% от общемировых объемов продовольственного зерна), СССР оказался зависимым от резко возросшей в это же время цены на зерно [3], [4].

Россия владеет огромными сельскохозяйственными угодьями. Хотя достаточно большая площадь ее земель расположена в зоне рискованного земледелия, тем не менее, сельскохозяйственные технологии уже выработаны нашими предками. Говоря современным языком, нами исторически освоено производство важнейшего знания. Теперь следует наладить каналы его распространения.

Таким образом, в нашей стране есть неограниченные возможности по выращиванию определенных сельскохозяйственных культур. Одной из них может быть рапс. Развитие подобного производства способно вывести страну на лидирующие позиции в этой области.

Будущее национальных государств в настоящее время ставится под сомнение. Однако вопреки мнению одного из современных философов современности Ю. Хабермаса, утверждающему, что для многих групп населения государство становится ложным видом единства, не способным действовать в условиях...биотехнологического и компьютерного переворота (соответственно в сельском хозяйстве и промышленном производстве)» [5], можно противопоставить очевидное: как персонаж мировой истории государство еще функционирует. Значит, историческая необходимость в его функциях еще есть. Потому, российская государственность не может не учитывать того, что на селе живёт четвертая часть сограждан (численность сельского населения в России составляет примерно 26% от общей численности).

По данным переписи на 1 января 2010 года общее население России составляет 120 млн. человек, против 140 млн. при прошлой переписи (точка невозврата, потери возможности восстановить численность населения составляет для России 80 млн. человек) [6, 7]. По данным этой же переписи сокращение городского населения идёт быстрее, чем сокращение сельского населения [6]. Это означает, что приращение России возможно за счет сельских жителей.

Низкий уровень образованности сельского населения снижает потенции к переезду в другие районы. Поскольку миграция «низкоквалифицированных работников в регионы с более высоким уровнем жизни носит чисто экономический харак-

тер» [2, с.51], то с учетом особенностей России как одного из регионов мира, организация сельскохозяйственного производства способна создать на длительный период огромное количество рабочих мест, а значит решить экономические вопросы данной части населения.

Спрос на натуральные продукты гарантирован до тех пор, пока сохраняется классический антропологический тип. Даже с появлением нового вида человека, уже сегодня можно прогнозировать сохранение потребности в сельскохозяйственной продукции. Так, найдены новые возможности для ее применения: в США из пшеницы получают пластик, который используют для изготовления одноразовых посуды, он быстро разлагается, не загрязняет окружающей среды; идут разработки биорезины для покрышек автомобилей [8, 9, 10]. Во всем мире сегодня пытаются найти альтернативные углеводородам источники энергии. Неоднократно испытывалось топливо из сельскохозяйственных продуктов и отходов сельскохозяйственного производства (биоэтанол, биодизель). Биологическое топливо имеет только один недостаток – пока оно дороже обычного. Развитие технологий разрешит эту дилемму. Генетические модификации открывают новые возможности для использования продуктов животноводства в промышленности: из молока генномодифицированных коз получают паутину прочнее и легче стали. Можно получить новый материал, который по своим свойствам превосходит даже всем известный кевлар [11].

Вместе с тем, необходимо поднять общий уровень образованности сельского населения для того, чтобы люди могли пользоваться уже имеющимися технологиями. Некоторые базовые знания понадобятся, чтобы освоить вновь появившиеся устройства и машины. Кроме того, образованному человеку намного проще объяснить, требования, поставить задачу и пр. Образование подразумевает воспитание: большую серьезность, наличие четких ценностных установок, цели жизни. Сложно представить, чтобы дипломированный инженер, ломал инвентарь в городском парке или писал на стенах домов непристойности. Образовательный уровень сельского населения поднимется благодаря выпускникам вузов. В нашем случае: за счет инженеров, обучающихся специальности 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе».

Конечно, государству следует иметь в виду потенциальный риск: по мнению исследователей, чем «выше уровень подготовки индивидов, тем более требовательны они к условиям и уровню

оплаты труда» [2, с.50]. Однако с развитием технологий меняется роль человека в сельскохозяйственном производстве, его быт в целом.

Так автоматизация сельскохозяйственной техники необходима и реальна. Если учесть, что трактор при обработке земли только тянет за собой оборудование в сцепке, то техника, которая будет обрабатывать поле почти без участия человека – в настоящем решаемая задача. Возможна модернизация имеющихся образцов путём установки сервоприводов, системы навигации и небольшого маломощного (по сегодняшним меркам) ЭВМ. При небольшой доработке возможна ориентация навигации на GPS или ГЛОНАСС.

Естественно, что для ремонта такой техники, необходимо осваивать смежные знания в области электроники или привлекать инженера-электронщика.

Но это – повод к личностной рефлексии, стимулирующей развитие личностного потенциала. Не случайно в работах ученых прогнозируется появление новых «персонажей мировой истории: регионов, интеллектуальных программ и локальных антроподромов (образовательные анклав, анклав личностного роста)» [2, с.47].

#### Литература:

1. Анисимов В.М. Кадровая политика России: философская и функциональная основы // Вопросы философии. – 2010. – №4 – С. 48–60.
2. Щедровицкий П.Г. Изменения в мышлении на рубеже XXI столетия: социокультурные вызовы // Вопросы философии. – 2007 – №7. – С.36–54.
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/экономика\\_CCCP](http://ru.wikipedia.org/wiki/экономика_CCCP)
4. [http://ru.wikipedia.org/wiki/распад\\_CCCP](http://ru.wikipedia.org/wiki/распад_CCCP)
5. Цит по Щедровицкий П.Г. Изменения в мышлении на рубеже XXI столетия: социокультурные вызовы // Вопросы философии. – 2007 – №7. – С.46.
6. <http://demoscope.ru/weekly/2010/0407/barom01.php>
7. <http://www.rg.ru/2011/03/27/perepis-rosstat-site.html>
8. <http://ru.wikipedia.org/wiki/биодизель>
9. <http://ru.wikipedia.org/wiki/биоэтанол>
10. [http://100avto.net/2010/07/08/v\\_ssha\\_razrabatyvaets-ja\\_biorezina\\_dlja\\_avtomobilnyx\\_pokryshek.html](http://100avto.net/2010/07/08/v_ssha_razrabatyvaets-ja_biorezina_dlja_avtomobilnyx_pokryshek.html)
11. <http://mysci.ru/tag/pautina>

## ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИКИ И ОБЩЕСТВА

Воробьева В.В.

Научный руководитель: Степанов А.А., д. филос. н., профессор

Томский государственный педагогический университет, 634061, Россия, г. Томск, ул. Киевская, 60

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

В современную постиндустриальную эпоху философия техники стала иметь особую значимость. Изменение отношения к технике, изменение роли техники в общественном производстве, изменение самого общества – всё это на протяжении последних десятилетий влияет на формирование идей данной относительно молодой науки.

В процессе научно-технического развития в обществе не раз менялась философская мысль в вопросе техники.

В начале XX века российские философы рассматривали взаимодействие машинизма (техники) и общества с религиозной точки зрения. По словам Н. Бердяева если с одной стороны техника несёт в себе комфорт жизни и удобства, а вследствие этого делает человека «слабым» духом, то с другой стороны именно эта её черта должна была заставить человека выработать в себе сопротивляемость, бесстрашие перед резко изменяющейся жизнью: «Очень часто в нашу эпоху люди, раненные машинизмом, говорят, что машина калечит человека, что машина во всем виновата. Такое отношение унижает человека, не соответствует его достоинству. Не машина, а человек виновен в страшной власти машинизма, не машина обездушила человека, а сам человек обездушился» [1].

Социологический же смысл техники стал заключаться в её повсеместном распространении, фактически наступила эпоха господства техники, что сформировало в философских кругах вопрос о сохранении иерархии ценностей и ограничении власти машинизма в обществе. Христианский мыслитель Н. Федоров пытался найти ответ на данный вопрос, он говорил, что философии необходимо перейти от теоретического познания к непосредственному переделыванию мира. Человек же должен активно упорядочивать социальную жизнь [1].

С 50-х годов до конца 80-х годов XX века в первую очередь решался вопрос о месте техники в науке. В результате сформировалась чёткая идея о том, что техника и наука тесно сплелись в новое целое, и потеряли независимость друг от друга. «...На сегодняшний день не только не существует хотя бы самой незначительной отрасли техники, которая в своем развитии вплоть до уровня производства не руководствовалась бы теорией и не контролировалась ею, но что, помимо этого, не существует почти ни одной науки, которая бы не опосредствовалась аппаратной техникой» [5].

В этот период заканчивается экстенсивная фаза роста техники и технологии и на её место заступает интенсивная. Возникшие на базе технологий инновации уже меняют свою цель с увеличения количества выпущенной продукции на повышение качества жизни и минимизации побочных последствий технического прогресса. Становятся более важными новые ценностные концепции. Поднимается вопрос об окружающей среде – влияние техники на неё уже не может быть проигнорировано. Однако в странах третьего мира в первую очередь решается проблема голода. Получается двойственное отношение к результатам развития техники: развитые страны формируют

в обществе принцип защиты природы от негативных последствий научно-технического прогресса, но в развивающихся странах удовлетворение первичных потребностей является приоритетным, и никакие кризисные последствия прогресса для них не являются доводом. Из чего можно сделать вывод: материальное и техническое насыщение приводит к тому, что нематериальные и нетехнические ценности обретают социально более высокий статус.

В. Циммерли отмечает, что «техника в процессе социальных изменений настолько изменилась сама, что она (в виде новых технологий) в будущем во все боль шей мере будет развиваться в направлении социальной, экологической, структурно и этически совместимой технологии» [5].

В конце XX века происходит развитие различных «философий» в разных областях современной техники. Философия науки сталкивается с проблемой ухода от ответственности: создатель отдельного элемента сложной технической системы несет лишь ограниченную ответственность за всю систему в целом.

В. Горохов приводит пример с атомной энергетикой: «... «мирное» (вторичное, второстепенное, оправдательное) использование разработанной для военных целей техники неизбежно несет на себе отпечаток второстепенного побочного продукта, необходимость «переворачивания» и преодоления этого отношения. И хотя часто говорят, что сама техника этически нейтральна, ее создатели несут ответственность за ее вредоносное использование» [2].

Особенно чётко общество осознало всю масштабность материального и морального ущерба, который может быть нанесён человеку и окружающей среде, после чернойбыльской катастрофы. Этот переворот в мировоззрении уже не позволил оправдать использование вредоносной техники государственной, экономической или технической целесообразностью и высшими научными интересами. Данную ситуацию в современной технике германский философ Х. Ленк охарактеризовал следующими словами – «между технокатастрофой и надеждой».

Происходит усиление теоретического измерения техники и инженерной деятельности, что приводит к появлению вопроса: могут ли информационные системы быть морально ответственными, если знание в них становится «обезличенным». Развитие биотехнологии приводит к осознанию необходимости развития инженерной этики: осознание внутренних границ научно-технического развития, заключенных в биологической природе самого человека.

Таким образом, появилась необходимость выработки нового понимания научно-технического прогресса, новой «философии» в технике. Об этом говорят в своих работах А.А. Воронин, Д.В. Ефременко, Ю.Ю. Чёрный.

В. Горохов пишет: «... стихийная «философия» в технике должна быть... преобразована в сознательную «философию техники» в тесной связи с «философией окружающей среды», а это возможно лишь через изменение

(гуманитаризацию и гуманизацию) инженерного образования. В этом смысле, если развитие техники в нашем столетии ориентировалось первоначально главным образом на науку, а затем и хозяйственную деятельность, то философия техники будущего столетия вынуждена стать одновременно философией окружающей среды» [2].

В конце XX – начале XXI века техника переходит в состояние технологии информационно-теоретического типа. Изменения, вызванные информационной революцией, затрагивают все стороны общественной жизни. Широкое и быстрое распространение новейших информационно-телекоммуникационных технологий начинает постепенно стирать границы между странами, секторами экономики, общественными группами и особенно конкретными индивидами. Происходят серьезные изменения на международном уровне - переход бывших соцстран к построению рыночной экономики и организации политической и общественной жизни на традиционных, выработанных в ходе истории человечества принципах.

Главным следствием этих изменений является перестройка мировоззренческих, философских, экономических и политических установок конкретных индивидов и общества в целом. Становление информационного общества связано с полным изменением принципов организации общества. Согласно Х. Шпиннеру в процессе информатизации не только создается новый стиль познания, новый тип знания и заново определяется его место в научной и вненаучной сфере, но имеет место и глубокое изменение системы знания, которая играет не малую роль.

А. Лаврухин отмечает: «В новых условиях происходит её (системы знания) постепенная трансформация под влиянием таких факторов, как технизация знания, коммерциализация продуктов знания, глобализация информационных потоков на национальном и международном уровнях, приватизация определенных типов и подразделов знания. Х. Шпиннер считает, что воздействие этих четырех факторов ведет к появлению и использованию знания, «освобожденного» от критериев научной истинности и профессиональности» [4].

А. Грунвальд значительную роль отводит информационной и коммуникационной технике, которая может функционировать гибко и эффективно, учитывая совместимость с окружающей средой. Он приводит пример с системой Call a Bike в Мюнхене, основанной на гибком лизинге, который стал возможным благодаря использованию информационно-коммуникационных технологий. Данный опыт подтверждает тот факт, что техническое развитие существенно зависит от социальных и экономических обстоятельств. Такие условия влияют на поведение пользователей подобных технологий. Возникает вопрос о том, как вообще возможно «социальное формирование техники», если учитывать именно влияние общества на ее структуру, функционирование и последствия [3].

Оценка последствий использования техники исследует вопрос о том, что техника и общество развиваются не

изолированно друг от друга, а взаимосвязанно. Однако формирование техники для устойчивого развития общества не может быть запрограммировано на достижение конкретных целей. Понимание того, какое влияние конкретные технические продукты или системы оказывают на достижение устойчивого общественного развития, появляется лишь в контексте взаимодействия техники и общества.

Отсутствие в современной философии науки и техники общей теории социальной оценки техники является основной проблемой, которую пытается решить А. Грунвальд. По его мнению, рождение такой теории необходимо, поскольку существует потребность в систематическом описании и регламентации реальной практики социальной оценки техники, которая, на сегодня имеет более чем сорокалетнюю историю и постепенно приобретает черты новой научной дисциплины [3].

Таким образом, из вышесказанного следует, что техника под таким углом рассмотрения меняет свою ценностную ориентацию. Роль техники в обществе постоянно меняется, причём в сторону увеличения своего влияния. Несмотря на информатизацию общественной жизни, нельзя забывать, что информационные технологии – это часть техники, и что эту часть в эпоху глобализации нужно особенно интенсивно изучать для поиска новых эффективных путей общественного производства.

#### Литература:

1. Бердяев Н.А. Человек и машина: Проблема социологии и метафизики техники // Путь. - Май 1933. - №38. - С. 3-38.
2. Горохов В.Г. «Философия» в технике как саморефлексия и новое понимание научно-технического прогресса как устойчивого развития // Техника, общество и окружающая среда: материалы междунар. науч. конф. - М., 1998. -150 с.
3. Грунвальд Армин. Техника и общество: западноевропейский опыт исследования социальных последствий научно-технического развития. Пер. с нем. М.: Логос, 2011, 160 с.
4. Лаврухин А.Н. Роль принципа структурно-политического плюрализма в становлении информационного общества // Техника, общество и окружающая среда: материалы междунар. науч. конф. - М., 1998. -150 с.
5. Циммерли Вальтер. Техника в изменяющемся обществе. / Философия техники в ФРГ. // Сборник статей. Перевод с немецкого и английского. Составители: Ц.Г. Арзаканян, В.Г. Горохов. М.: Прогресс, 1989. С. 236—256.

## ЭКОЛОГИЗАЦИЯ МЫШЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА КАК ВАЖНАЯ КОМПОНЕНТА ЕГО ОБРАЗОВАННОСТИ И БЫТИЯ

Иванова Е. М., Горшкова О. А.

Научный руководитель: Иванова Е.М., к. филос. н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) ФГБОУВПО  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,  
652055, Россия, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

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

В современном обществе происходит трансформация общегуманистического императива в экологический и экономический императивы: всеобщее образование становится важным условием эффективного экономического развития общества и выведения человечества из состояния экологической катастрофы.

Плодотворное развитие науки и техники, провозглашенное НТР, в большей степени служило удовлетворению односторонним интересам человека в убыток природе. Одной из главных причин этого стало нарушение баланса между верой и знанием, между онтологическим и гносеологическим. НТР создала условия для снятия технических ограничений в использовании природных ресурсов. Индустриализация значительно увеличила власть людей над природой и в то же время уменьшила численность населения, живущего в непосредственном контакте с ней. В результате преодоления человеком природы из душ людей почти исчезло живое чувство и благоговение перед матерью – природой, а отношение к ней свелось к торжеству овладения и потребительства. «Логика» сердца как нравственный критерий и критерий мудрости была отдана в жертву логике расчёта и потребительского расчёта человека. В эпоху НТР переоценка ценностей произошла не в пользу человека и природы как творений Божьих.

Несмотря на то, что будущее общества зависит от ориентации в техническом освоении природы, существенное значение приобретают критерии выбора путей техногенеза, зависящее от мировоззренческих и ценностных установок личности. Поэтому одним из весомых условий ликвидации экологической напряженности, возникающей в следствии техногенеза, является формирование у студентов технических специальностей экологического мышления.

Гуманитаризация технического образования подразумевает развитие понимания знаний с позиций человеческой морали, общественного сознания и природолюбия, глубокой веры и признания своего долга перед Творцом сущего. Отсутствие в настоящее время надлежащих принципов гуманитаризации технического образования создаёт дефицит творчески активного мышления будущего специалиста – инженера, конструктора... в экологически нравственном смысле. Гуманитарное образовательное пространство обеспечивает экологизацию знаний будущих специалистов. Гуманитаризация технического образования требует пересмотра имеющейся системы доказательств и опровержений в рамках традиционной логики. Тем более что интенсивная компьютеризация инженерно-технических расчётов и обоснований основывается на тех же принципах формальной логики. Структура современного общества базируется на триаде: наука, техника, хозяйственная деятельность. И если хозяйственная деятельность исходит из убеждений целевой рациональности, то наука и техника становятся её заложниками, выполняя соподчинительную роль в достижении прагматичного, экологически иррационального результата. В современном обществе появляются попытки преодоления этого противоречия. Один из возможных путей

снятия противоречия в технократической структуре общества состоит в развитии репликационных направлений технического прогресса. Пока в этом направлении обозначились первые «шаги», но уже они свидетельствуют о возможности возрождения преемственности поколений и пробуждения человеческих душ через любовь к нашим предшествующим традициям, к природе и её Творцу.

Без формирования экологической культуры человека гуманизация и гуманитаризация образования не эффективны, т. к. в наше время без человеческого отношения к природе невозможны человеческие отношения между людьми. Экологические рекомендации постепенно превращаются в моральные требования, предъявляемые к человеку, которые он должен выполнять с целью минимизации отрицательного влияния техники на природу, переориентации технического развития на ресурсосберегающие и природобезопасные технологии.

Экологическое образование призвано увидеть границы и опасность расширения природобезопасных технологий. Без экологизации инженерная деятельность носит разрушительный характер.

Главным негативным последствием господства сциентистско-технократического мировоззрения является формирование в обществе культа человека-потребителя, воспринимающего природу как источник материальных благ. Практическая реализация технократического мышления привела к экологическому кризису. Сциентизм и технократизм, с одной стороны, и экологическое мышление, с другой, зародились одновременно. Но если сциентистское и технократическое мышление, направленное на покорение природы, поддерживалось политической государством, то экологическое мышление оставалось от неё в тени. В настоящее время нужно гармонизировать отношения природы и человека посредством создания новой ценностной системы, включающей все достижения естествознания, в которой человек не противопоставляется вселенной, а органически включается в неё. Преодоление сциентизма и технократизма видится на пути экологизации воспитания, образования, мышления человека. Что касается преодоления экологического кризиса, то в решении этой проблемы пока намечился один путь – совершенствование технологий, экологизация техники, но он связан с реформами высшей школы, способной создавать гуманистически мыслящего и разумно действующего специалиста.

Экологическое мышление всегда было неотъемлемым компонентом мировоззрения человека, но в разные эпохи оно имело разное содержание и форму выражения. Первые его ростки стали пробиваться одновременно с первыми успехами технологической цивилизации. Экологическое мировоззрение шире по своему нравственному содержанию целевых установок науки экологии. Его и надо прививать детям – поколениям, идущим в жизнь. Прививать тщательно, терпеливо, усилиями семьи и школы. Соединение экологии с эстетикой могло бы дать наибольший воспи-

тательный эффект. Природа, красота, добро – всегда нераздельны.

В. И. Вернадский писал о том, что экологические принципы будут меняться вместе с развитием техники по мере истощения ресурсов и людям придётся считаться с этим и научиться соизмерять свои действия с экологическими принципами. Возникает некий «экологический императив». Наука должна его сформулировать, а люди принять. В этом он видел трудность обеспечения коэволюции человека и биосферы, способность правильно использовать мощь общества означает экологическое мышление [1]. Как подчёркивает академик В. П. Казначеев: экологическое мышление – это уровень знаний, культуры, воспитания, при котором каждый в своей профессиональной и непрофессиональной деятельности преследует цели создания и организации лучших условий психоэмоциональной, природной и общественной Среды для дальнейшего развития человека, сохранения его здоровья [3].

Говоря о духовности человека в контексте экологической проблемы, следует учесть взаимообусловленность этих двух феноменов. С одной стороны, бездуховность ведёт к экологической катастрофе, обеспечивая потребительское отношение к природе. С другой, экологическая проблема как проблема выживания, задаёт новый ракурс понимания духовности как средства собственного спасения. Экологизация духовности обостряет и актуализирует эту вечную тему. В условиях экологического кризиса формируется новая стратегия нравственного поведения. Действия человека сопряжены общей цели – сохранению природного гомеостаза. Баланс природы и целостный характер экосистемы предлагается рассматривать как ценности, на основе которых могут строиться нормативные модели поведения человека. Баланс природы рассматривается не как источник ценностей, а как основа выбора, с которой все иные ценности должны быть согласованы. Утверждение баланса природы как основы ценностей фиксирует нужную среду для этической активности. Второй тезис более радикальный, чем первый: нравственность выводима из целостного характера экосистемы. Это означает, что человек хотя и определяет свои ценности сам, но их выбор ориентирован требованиями экосистемы. Если в первом случае существуют экономические и др. ценности как самостоятельные, лишь бы они не нарушали баланс, то во втором случае все ценности имманентно пронизаны экологическим содержанием. Следовать экологической сути вещей становится фундаментальной целью человека.

При таком выборе стирается дихотомия сущего и должного. Мир ценностей расширяется настолько, что природа перестаёт быть сущим, становясь существом. Экологизация мышления достигает такой глубины, что становятся сопоставимыми ментальность людей и экологические горизонты их бытия. Человеческое «Я» сплетается с экосистемами во множестве метаболических процессов, а мир предстаёт как моё тело. Человеческое «Я» срывается с окружающим ландшафтом, так что разрушение в нём приравнивается к биологическому разрушению человека или его духовному опустошению. «Я» расширяется до масштабов природной системы.

Глобальное экологическое мышление, приложенное к науке, снимает противоречивость знания описывающего и предписывающего, ведёт к подлинной натуралистической этике. Насколько реалистичны эти прогнозы, покажет будущее.

На данный момент, по мнению Т. В. Ивановой, возникает необходимость целенаправленного воспитательного, обучающего воздействия на структуры массового сознания с целью формирования, как экологических ценностей, так и соответствующих форм поведения [2]. Вместе с тем проблема экологического обучения изначально несёт в себе противоречие. Человек, как известно, является носителем не только психологических, но и социальных качеств. При этом выполнение социальной роли может вступать в противоречие с ценностями субъекта. Можно быть активным «другом природы» во вне рабочее время и, подчиняясь логике производственного процесса, наносить ей ущерб. Вероятно, данное противоречие закладывается в процессе овладения профессией. Что способствует формированию экологического мышления студентов в современной высшей школе? Усвоение социальных ролей, включающих индивида в производственный процесс, является фактором воссоздания рационалистических экологических ценностей. Структура экологического сознания у лиц с гуманитарным и техническим образованием имеет различия. У гуманитариев восприятие природы связано с её пониманием как элемента экосистемы. У лиц с техническим образованием образы природы опосредствованы. Она воспринимается через материально-бытовые формы жизнедеятельности человека и через взаимодействие с миром искусства. На наш взгляд, экологическое понимание есть осознание единства всей жизни, взаимозависимости всех её проявлений. А человеческая духовность есть такой модус сознания, в котором мы чувствуем связь с космосом. Следовательно, экологическое сознание духовно в глубине своей сути.

В заключении хотелось бы подчеркнуть, что экологический императив в своей сути – императив нравственный. Экологическая этика отходит от традиций антропоцентризма и становится трансперсональной, рассматривая общество не как множество отдельных людей, а как пульсирующее поле взаимодействий. Защита природного мира и защита себя оказываются процессами неразделимыми. Структуры таких слов как со-знание, со-чувствие, со-весть напоминают о причастности человека к общему полю деяний. Понимание этой причастности не мешает человеку быть хозяином своей жизни, ответственным и заботящимся о тех, кого он приручил: людей, животных, растения, строения, землю, а теперь – и за свои мысли, идеи.

#### Список литературы:

1. Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. – М.: «Наука», 2009. – 376 с.
2. Иванова Т. В. О красоте профессии воспитателя. – М., 2008. – 348 с.
3. Казначеев В. П. Геокосмическая экология человека. – М., 2007. – 485 с.

## ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОКАЗАНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ В ПАЛЛИАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

Корелина Е.В.

Научный руководитель: Мещерякова Т.В., к.ф.н., доцент

Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, Московский тр., 2

E-mail: [chip7@sibmail.com](mailto:chip7@sibmail.com)

За последние десятилетия благодаря развитию биомедицинских технологий стал очевиден прогресс в медицине в борьбе с тяжелыми заболеваниями. Например, повысился процент выживаемости онкологических больных, если в 1960-1963 гг. пятилетняя выживаемость среди белых составляла 39%, то в 1986-1991 гг. она составляла уже 58% [1]. Но даже, несмотря на это, в мире по-прежнему много неизлечимых больных, терапия которых сводится к купированию некоторых симптомов, в том числе и болевых. Пациент, страдающий неизлечимым заболеванием, нуждается не только в лекарственной терапии, но и в психологической помощи. Психологическая помощь в паллиативной медицине очевидно имеет свою специфику. В связи с этим при проведении психокоррекции или психотерапии важно учитывать этические аспекты и этические принципы работы с данной категорией больных. **Цель** данной работы заключается в том, чтобы выявить, какие этические аспекты сопровождают оказание психологической помощи в паллиативной медицине. В соответствии с целью мы ставим следующие **задачи**: выделить основные психологические проблемы пациентов с неизлечимыми заболеваниями, рассмотреть психотерапевтические подходы, выявить этические аспекты оказания психологической помощи данной категории пациентов.

Итак, паллиативная медицина – это область здравоохранения, призванная улучшить качество жизни пациентов с различными нозологическими формами хронических заболеваний преимущественно в терминальной стадии развития, в ситуации, когда возможности специализированного лечения ограничены или исчерпаны [2]. Паллиативная медицина сопровождается психологической помощью неизлечимым больным.

Э. Кюблер-Росс в своей книге «О смерти и умирании» описала 5 стадий, которые переживает пациент, страдающий смертельным заболеванием. Среди них выделяют: отрицание, гнев, торговля, депрессия, принятие [3]. Эти стадии отображают реакцию больного на известие о смерти. Так, например, на стадии отрицания человек не верит, что у него имеет-

ся опасное заболевание, утверждает, что с ним этого произойти не могло, пытается вести привычный образ жизни, который был у него до болезни. На стадии торговли пациент желает совершить сделку с различными инстанциями, друзьями, Богом, чтобы «выторговать» свою жизнь или хотя бы её часть. На стадии депрессии у пациентов выявляются клинические симптомы депрессии: ангедония, снижение настроения, снижение энергетического потенциала, нарушение сна.

Наличие данных стадий у неизлечимого больного свидетельствует о необходимости оказания ему не только медикаментозной терапии, но и психологической помощи.

Исходя из предложенных стадий, можно предположить, какое психологическое вмешательство будет уместно при работе с неизлечимым больным. Например, при лечении депрессии применяются различные подходы. Остановимся подробнее на некоторых. Подход Бека, направленный на изменение негативных когнитивных схем, включает в себя идентификацию «автоматических» мыслей и генерализованных искаженных установок, гибкие вопросы; домашние задания; протоколы мыслей и действий. Подход Рема, направленный на изменение неадекватных процессов самоконтроля, подразумевает тренинг самонаблюдения, самооценивания и самоподкрепления. Подход Левинсона, целью которого является изменение неадекватных соотношений поведения и подкрепления. Данный подход включает супружескую и семейную терапию; тренинг социальных навыков; планирование деятельности. Важно отметить, что спектр психотерапевтических подходов к лечению депрессии очень широк, здесь описаны наиболее уместные, на наш взгляд, методы терапии для данной категории пациентов. Добавим, что мы не случайно взяли за основу нашей психотерапевтической помощи именно стадию депрессии. Это связано с тем, что депрессия является психическим расстройством, она описывается в МКБ-10, имеет утвержденные критерии, а, следовательно, и большое количество подходов к лечению.

Перейдем к обсуждению этических аспектов оказания психологической помощи в пал-

лиативной медицине. Первое, что нужно учитывать при оказании психологической помощи, это особенности нашего пациента, его отношение к себе, своей болезни, окружающим. Если соматически здоровому человеку можно указать, например, на его будущие перспективы, пути развития, чтобы мотивировать к деятельности, то для нашего пациента этот способ будет совсем неуместен. Также существуют и другие этические проблемы, связанные с паллиативной помощью. Во-первых, пациент может быть неспособен участвовать в процессе принятия решения. Во-вторых, возможны страдание и немощь больного. В-третьих, ресурсы его личности могут быть ограничены.

Существует группа этических принципов, которые важно соблюдать при оказании паллиативной помощи. Среди них необходимо выделить следующие: уважайте жизнь; допускайте неизбежность смерти; рационально используйте возможные ресурсы; делайте добро; сводите к минимуму вред [4]. Эти принципы очень хорошо отражают специфику паллиативной медицины и психологической помощи неизлечимым больным. Действительно, важно уважать жизнь пациента, но в то же время допускать неизбежность смерти. Принцип «рационально используйте возможные ресурсы» можно истолковать двояко. Так, например, под ресурсами можно понять различные варианты помощи больному, подходы, конкретные способы. Или же, наоборот, ресурсы – это внутренние возможности, силы самого пациента. Оба толкования данного принципа применимы по отношению к психологической помощи больному. «Делайте добро» и «сводите к минимуму вред», на наш

взгляд, являются самыми главными принципами не только паллиативной помощи, но всех сфер, в которых имеет место взаимодействие человека с человеком.

Итак, в нашем исследовании мы рассмотрели понятие паллиативной медицины, связанные с ней психологические проблемы, выявили, что основной целью психотерапевтического вмешательства является устранение признаков стадии депрессии, являющейся своеобразной психологической реакцией больного на известие о смерти. Мы определили основные этические аспекты, сопровождающие психологическую работу с неизлечимыми больными, обнаружили группу этических принципов паллиативной помощи.

#### **Список литературы:**

1. Тюляндин С.А. Рак (онкологические заболевания, злокачественные опухоли): заболеваемость [Электронный ресурс] : Тюляндин С.А. – URL: [http://humbio.ru/humbio/01122001/canc\\_sv/00046f3d.htm](http://humbio.ru/humbio/01122001/canc_sv/00046f3d.htm) (дата обращения: 01.02.2012).
2. Паллиативная помощь [Электронный ресурс] / Паллиативная помощь. – URL: <http://palliativ.ru> (дата обращения: 17.12.2011).
3. Кюблер-Росс, Э. О смерти и умирании / Э. Кюблер-Росс; пер. с англ. К. Семенова, В. Трилис. – Киев: София, 2001. – 320 с.
4. Хетагурова А. К Паллиативная помощь: медико-социальные, организационные и этические принципы: автореф. дис... д-ра мед. наук – Москва, 2005. – 46 с.

## ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БИОНИКИ И ДИЗАЙНА

Сайкина Ю.А., Соколов А.П.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30

Email: [saikina\\_93@mail.ru](mailto:saikina_93@mail.ru)

Данная статья посвящена вопросу гармонизации взаимодействия человека и предметной среды за счёт усиления принципов бионики в дизайне.

Необходимо исследовать возможности восстановления равновесия между техническим прогрессом и человеком как явлением природы с помощью усиления взаимодействия бионики и дизайна.

В данной статье решается задача – разработать методы усиления взаимодействия бионики и дизайна для снижения негативного воздействия человека на природу.

Для анализа ситуации необходима терминологическая определённость.

Проще с термином «бионика». Бионика (от греч. *bion* - элемент жизни, буквально - живущий) - наука, пограничная между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Стронники бионики считают, что всякое природное создание — будь то дерево или птица — представляет собой оптимальную структуру с точки зрения выживания и функциональности.

➤ Различают: биологическую бионику - изучающую процессы, происходящие в биологических системах;

➤ теоретическую бионику - строящую математические модели этих процессов;

➤ техническую бионику - применяющую модели теоретической бионики для решения инженерных задач.

С термином «дизайн» сложнее. Важно иметь в виду, цель, ради которой это термин вводится. По терминологии дизайна написано много литературы, но именно целевая составляющая термина, как правило, даётся слабо [1]. Наиболее чёткое определение дизайна с позиций цели даёт В.Л. Глазычев [2]. По его мнению, с точки зрения капиталиста, дизайн – это хозяйство, с помощью которого достигается максимальная прибыль. С точки зрения общества, дизайн – это система формирования предметной среды с целью гармонизации взаимодействия её и человека. Такую систему и будем называть принципом дизайна.

В данной статье именно с позиции общества будет рассматриваться взаимодействие бионики и дизайна в формировании предметной среды.

Основу теоретической бионики составляют исследования по моделированию различных биологических организмов. Однако, моделирование имеет свои ограничения. В немецком языке аналог – симуляция, а в английском – имитация, т.е. основу моделирования может составлять не копирование и развитие, а только сохранение облика объекта.

В основе моделирования лежит принцип повторяемости в соответствии с программой, находящейся вне объекта исследования, а в основе развития биологического объекта лежит программа, находящаяся внутри него. Поэтому всегда будет открытым вопрос достоверности получаемых результатов моделирования.

Идея применения знаний о живой природе для решения инженерных задач принадлежит Леонардо да Винчи, который пытался построить летательный аппарат с машущими крыльями, как у птиц – орнитоптер. Леонардо да Винчи считают родоначальником бионики, так как он выдвинул первый из принципов этой науки – присмотреться к методам природы. Соответственно, первый принцип бионики – методы природы разумно использовать в технике.

Автоматически появляется два принципа, почерпнутые в природе: второй принцип – минимизация затрат в реализуемых технических объектах; третий принцип – разнообразие форм – широко используется в дизайне.

Первый принцип бионики, разрабатываемый в технической бионике, позволил получить интересные изобретения, такие как застёжки-липучки или крепления-присоски. В технической бионике решения-подсказки, лежавшие на поверхности, на данный момент уже использованы. Исследования идут вглубь. Изучаются биологические объекты на микроскопическом и на наноуровне [3].

В настоящее время в технической бионике активно развиваются два направления: нейробионика и архитектурно-строительная бионика.

В нейробионике с помощью радиоэлектронных приборов изучаются неврологические физиологические характеристики животных. И на их основе пытаются разработать алгоритмы управления живыми организмами. Подобные опыты проводились и в СССР.

Непонятна цель разработки алгоритмов управления живыми организмами. Если под организмом понимать человека, то с точки зрения общества такие разработки безнравственны.

Пограничным к нейробионике является направление – разработка приборов, основанных на использовании эффекта Кирлиан.

Весомые результаты достигнуты в архитектурно-строительной бионике и в формировании объектов дизайна.

Фактически взаимодействие бионики и дизайна началось задолго до образования науки бионики как таковой. Именно такое взаимодействие в плане формирования объектов дизайна осуществлялось в стиле модерн.

Сочетание близости и индивидуальности объектов природы и плавности непрерывных линий

контура создаваемого экстерьера – всё это результат взаимодействия будущей науки бионики и дизайна. Такой подход позволил создать множество впечатляющих объектов арт-дизайна.

Исследование строения кости и выявление структуры линий, которые в технике называют силовыми линиями, позволило оптимизировать конструкцию башни, проектируемой Эйфелем.

При проектировании башни использовано следующее свойство, почерпнутое в природе – форма ствола дерева соответствует форме балки с распределением сечений, имеющих равную прочность. Использование двух идей, взятых из природы, позволило создать технический объект, который можно назвать шедевром дизайна.

Развитие технологии создания современных материалов, а также технологии их обработки позволяет всё чаще отказываться от прямых линий в интерьере помещений в угоду психике человека. Исследование особенностей психики человека с целью выявления комплиментарных ей форм расширяет возможности формообразования объектов дизайна. Большой ассортимент ручного механизированного инструмента позволяет реализовать почти на индустриальном уровне практически любые объекты интерьера или экстерьера.

Наглядным примером отхода от принципов бионики является строящаяся в Шанхае башня, которая после завершения строительства будет иметь форму кипариса высотой 1128 м с обхватом у основания 133 на 100 м., а в самой широкой точке 166 на 133 м. В башне будет 300 этажей, и расположены они будут в 12 вертикальных кварталах по 80 этажей. Между кварталами — перекрытия-стяжки, которые играют роль несущей конструкции для каждого уровня-квартала. Внутри кварталов — разновысокие дома с вертикальными садами.

Данное строение входит в вопиющее противоречие с принципом бионики – минимизация затрат в реализуемом техническом объекте. Затраты материала на оболочку в таком небоскрёбе растут пропорционально высоте, и соответственно падает эффективность такого сооружения. Встает вопрос «Зачем?». Можно только предположить что это бесполезная гонка за тем, у кого небоскребы выше и ученые лучше. С точки зрения природы люди соревнуются в бессмысленных вещах. Что нужно было сделать с человеком, чтобы он дошёл до жизни такой? Описываемый небоскрёб противостоит и психике человека, т.к. человека вырывают из человеческого масштаба, и его физической природы. Человек не может всё время находиться только в контакте с железом и бетоном.

В теоретической бионике важное место занимает моделирование. Возникает вопрос, где же грань между моделированием, т.е. повторяемо-

стью в технических объектах, и клонированием, т.е. повторяемостью в биологических объектах?

Наука строится на апробировании результатов, в основе чего лежит принцип повторяемости – если соблюдены все условия эксперимента, то будут получены одинаковые результаты. Этот принцип технических наук учёные пытаются перенести в науки о «живой материи». С этой целью было разработано целое направление – клонирование, т.е. создание абсолютно одинаковых биообъектов, на которых можно исследовать условия повторяемости подмеченных закономерностей, превращая тем самым закономерности в законы науки.

Разработчики клонирования упускают из виду основное различие технических объектов и биообъектов – биообъекту не безразлично воздействие на него [4]. Реагирование имманентно присуще биообъектам, а реагирование технических объектов привнесено им извне программой.

#### Выводы:

1. Сегодня, после длительного процесса дробления научных дисциплин, только начинает обозначаться потребность в такой организации знаний, которая позволила бы охватить и объединить их на основе единых всеобщих принципов. И взаимодействие бионики и дизайна здесь занимает особое положение.

2. Соблюдение принципов бионики и дизайна позволяет гармонизировать взаимодействие человека и создаваемой им предметной среды. Несоблюдение этих принципов разрушает равновесие между техническим прогрессом и человеком как явлением природы.

3. Развитие науки наиболее продуктивно до тех пор, пока это процесс похож на развитие объектов живой природы. Этот основной вывод должен делаться при наблюдении за природой – первый принцип бионики, т.е. от природы к технике, а не наоборот.

#### Список литературы

1. Кухта М.С. Основы дизайна / М.С. Кухта, Л.Т. Жукова, М.Г. Гольдшмидт; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 288 с.
2. Глазычев В.Л. О дизайне. Очерки по теории и практике дизайна на западе. М.: Искусство. 1970, 192 с.
3. Мальцев П.П. Наноматериалы. Нанотех-нологии. Наносистемная техника. – Москва: Техносфера, 2006. – 152с.
4. Шафаревич И.Р. Россия и мировая катастрофа // Наш современник. – 1993. – № 6. – С. 123-148.

## ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ: АМПЛИФИКАЦИЯ С ПОЗИЦИЙ МАТЕМАТИКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Степанов К.А.

Научный руководитель: Тимченко С.В., д.ф.м.н., профессор  
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: [kirill.stepanov.90@mail.ru](mailto:kirill.stepanov.90@mail.ru)

Предметом философского рассмотрения являются понятия и анализ их смысла. Технический прогресс в современных условиях в существенной степени обусловлен распространением и интенсивным совершенствованием средств математики и программирования, поэтому рассмотрение используемых в них понятий, их амплификация может быть полезной не только в философском плане, но и для различных областей науки и техники. Понятие «оптимизация» широко используется при проектировании и анализе больших технических систем. При решении научно-технических проблем довольно часто встречаются ситуации, когда достижение некоторого результата может быть осуществлено не единственным путем. Поэтому становится актуальной задача выбора оптимального способа решения, достижения наилучшего результата из возможных.

Задачи отыскания оптимального результата в математике и программировании принято называть задачами оптимизации. Гладков Л.А. дает следующее определение задачи оптимизации: «Под оптимизационной задачей понимается задача, в которой необходимо найти решение, в некотором смысле наилучшее или оптимальное. Отметим, что наилучшего решения во всех смыслах быть не может. Оно может быть признано оптимальным на основе критерия (меры оценки исследуемого явления) или целевой функции. Существует большое количество оптимизационных задач. Они могут иметь различный характер. Однако постановка всех оптимизационных задач имеет много аналогий» [1, с. 46].

Амплификация понятия «задача оптимизации» может привести к расширенному, более ясному пониманию как методологических основ, так и технологического, содержательного наполнения деятельности по математическому и программному обеспечению решения научно-технических проблем.

Рассмотрим понятия, принадлежащие к близким семантическим категориям понятия «оптимизация», и их стабильные значения, зафиксированные в словарях.

В толковом словаре даны следующие определения: «оптимальный – наиболее благоприятный» [2, с. 457], «благоприятный – способствующий чему-нибудь, хороший» [2, с. 50], «оптимизировать – придать чему-нибудь оптимальные свойства, показатели; выбрать наилучший из возможных вариантов» [2, с. 457].

Советский энциклопедический словарь дает следующие определения понятий. «Оптimum – (от лат. optimum - наилучшее), совокупность наиболее

благоприятствующих условий; наилучший вариант решения задачи или путь достижения цели при данных условиях и ресурсах. Оптимум экономический в широком смысле – наиболее эффективное функционирование общественного производства при социализме, в узком – наилучшее использование производительных сил, при котором достигается возможный максимальный эффект производства или возможный минимум затрат». Понятие «оптимизация» в этом словаре получает следующие дефиниции: «1) процесс выбора наилучшего варианта из возможных. 2) процесс приведения системы в наилучшее (оптимальное) состояние». «Оптимальный» (от лат. optimum - наилучший) трактуется как «наилучший, наиболее соответствующий определенным условиям и задачам». «Оптимальная задача» в данном словаре определяется как «экономико-математическая задача, содержащая критерий оптимальности и ограничения, т.е. направленная на поиск лучшего в определенных условиях (оптимального) значения показателя» [3, с. 929]

В словаре иностранных слов содержится следующее определение: «Оптимальный [от лат. optimum – наилучший] – наиболее приемлемый, благоприятный, удачный в данных условиях» [4, с. 254], следовательно появляется смысловой оттенок вероятности – удачи, что ближе к математическому пониманию.

Математика дает удобные и плодотворные способы описания самых разнообразных явлений реального мира и тем самым выполняет в этом смысле функцию языка. Эту роль математики прекрасно осознавал еще Галилей, сказавший: «Философия написана в грандиозной книге – Вселенной, которая открыта нашему пристальному взгляду. Но понять эту книгу может лишь тот, кто научился понимать ее язык и знаки, которыми она изложена. Написана же она на языке математики». [5]

Проанализируем употребление понятия «оптимизация» в современном программировании, чтобы найти используемые смысловые оттенки.

Задача оптимизации ставится как нахождение наилучшего результата, в задачах, рассматриваемых в математике и программировании, понятие «наилучший» выражено количественными критериями – минимум затрат, минимум времени, максимум прибыли и т.д. Этот критерий, как правило, называется целевой функцией, и является мерой качества результата. Мера – это философская категория, которая традиционно используется для отображения взаимосвязи и взаимозависимости количественных и качественных изменений. Подобный

подход в трактовке меры дан Гегелем, однако в программировании идет свой терминогенез.

Анализ основных способов решения задач оптимизации (градиентного метода и метода перебора) приводит к выводу о том, что существуют два смысловых оттенка при использовании понятия «оптимизация» и близких ему семантических категорий.

При градиентном методе выбираются случайные значения оптимизируемых параметров, далее эти значения с помощью различных формул постепенно изменяются, достигая наибольшего значения целевой функции, которая как мера имеет более однозначную количественную определенность. Алгоритм может остановиться, достигнув локального максимума. Градиентные методы быстрые, но не гарантируют оптимального решения (поскольку целевая функция может иметь несколько максимумов). При этом решение максимально соответствует понятию оптимума – наиболее быстрым методом находится наилучшее решение, т.е. наиболее благоприятная ситуация из всех возможных.

При методе перебора для поиска оптимального решения (максимума целевой функции) нужно последовательно рассмотреть все возможные варианты, что упрощает вычисления. Недостатком этого метода является большое количество вычислений. При методе перебора появляется дополнительный смысловой оттенок понятия оптимизации. Каждый вариант считается одинаково «ценным», примерно равновероятным, рассматриваются все варианты, включая и те, которые оцениваются как «заведомо плохие». Т.е. поиск оптимального при этом методе не означает деления вариантов на «хорошие» и «плохие».

Аmplификацию следует применять, если необходимо сформировать некую общую картину, на основании которой можно было бы расшифровать некий скрытый «смысл». В языках математики и программирования задача оптимизации обогащается различными образами (например, «популяция», «родитель»), символами, семантическими оттенками в результате чего выявляются их различ-

ные аспекты и возможные смыслы. В конечном счете это приводит к большему прояснению их значения. Полученные смысловые элементы связываясь друг с другом, в итоге формируют некое смысловое единство – понятие «задача оптимизации».

Различие в употреблении термина «оптимальный вариант» позволяет зафиксировать связь между принимаемыми средствами выражения и рассуждения, с одной стороны, и допущениями об объектах рассуждения – с другой, о которой говорит В.А. Смирнов. По его мнению, задачей философии является не только описать эту связь, но и четко сформулировать и обосновать. Конструирование искусственных языков, каковым является язык программирования, выяснение содержащихся в них онтологических допущений является, по мнению В.А. Смирнова, «хорошим средством изучения проблем онтологии» [6, с. 144].

#### Список используемой литературы:

1. Гладков Л.А. и др. Генетические алгоритмы / Л.А.Гладков. В.В.Курейчик, В.М.Курейчик; Под ред. В.М. Курейчика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
2. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений / Российская академия наук. Институт русского языка им. В.В. Виноградова. – М.: Азбуковник, 1999. – 944 с.
3. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1985. – 1600 с.
4. Комлев Н.Г. Словарь иностранных слов. – М.: ЭКСМО-Пресс, 1999. – 672 с.
5. The Assayers. Discoveries and opinions of Galileo: Doubleday anchor Books, New York, 1957, p. 237-238.
6. Смирнов В.А. Логические методы анализа научного знания / Под ред. В.Н. Садовского и В.А. Бочарова. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 264 с.

## ПРОБЛЕМА СТАТУСА РОДИТЕЛЕЙ В РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Шайхутдинова Л. К.

Научный руководитель: Мещерякова Т. В., к.ф.н., доцент

Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, Московский тр., 2

E-mail: [shalika.91@mail.ru](mailto:shalika.91@mail.ru)

В наше время большую распространенность имеют репродуктивные технологии, как метод решения проблемы бесплодия в стране. Проблема статуса родителей, а именно определение отцовства и материнства детей, зачатых искусственным путем, является особенно актуальной. Цель работы заключается в том, чтобы выявить причины проблематичности статуса родителей в репродуктивных технологиях. В соответствии с целью, ставим следующие задачи: обозначить проблему статуса родителей в репродуктивных технологиях с точки зрения биоэтики, выявить нарушения основных принципов медицинской этики.

К числу острых проблем биомедицинской этики относятся так называемые репродуктивные технологии – основанные на результатах научно-технических достижений, решающих задачи воспроизводства потомства. Речь идет о применении высоких технологий для получения потомства в тех случаях, когда это естественным путем невозможно – мужское и женское бесплодие, желание иметь кровнородственного ребенка без брака, желание гомосексуалистов, монахов и монахинь иметь детей и т.д. Репродуктивные технологии предусматривают различные варианты оплодотворения яйцеклетки в теле женщины или вне его, выбор пола будущего ребенка, генетическое очищение популяции, клонирование и др.

Одна из наиболее важных сфер применения репродуктивных технологий – искусственное оплодотворение яйцеклетки в организме женщины или вне его – «в пробирке», так называемое ЭКО, а одним из вариантов ЭКО является суррогатное материнство, при котором «супруги-заказчики», желающие завести детей, но не могут сами иметь их, заключают договор с женщиной, согласной выносить для них ребенка, зачатого от их донорского материала или полностью чужого (яйцеклетка и сперма) материала.

Все процедуры репродуктивных технологий влекут за собой ряд этических и юридических проблем. Российское законодательство достаточно разумно решает юридическую сторону проблемы. Статья 35 раздела VII закона РФ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» гласит: «Каждая совершеннолетняя женщина детородного возраста имеет право на искусственное оплодотворение и имплантацию эмбриона... Сведения о проведенном искусственном оплодотворении и имплантации эмбриона, а также о личности донора составляют врачебную тайну» [1]. Необходимо отслеживать, чтобы соблюдался один из основных принципов медицинской этики – «конфиденциальность».

Говоря о проблеме репродуктивных технологий, О. С. Филиппов отмечает, что «оплодотворение *in vitro* и в самом деле произвело революцию в акушерстве и лечении женского бесплодия. Однако этот метод не лишен этических проблем. И не только из-за шокирующе безнравственных предложений (использование «суррогатной» матери или донорских яйцеклеток и спермы, являющихся чужими по отношению к супружеской паре), но и из-за разрушения человеческих эмбрионов на современном этапе развития метода экстракорпорального оплодотворения [2].

Следует отметить, что отношение к суррогатному материнству неоднозначно. Л. О. Бадалян писал: «В методе, как я позволю себе назвать, «матери-несушки» мы сталкиваемся с некоторой, я бы сказал, ветеринаризацией человеческих отношений. Мы никогда не уйдем в данном случае от конфликтов, трагедий, судебных дел, поскольку, соглашаясь на контракт, физиологическая мать часто не знает о силе материнских инстинктов, не представляет себе, какое моральное испытание ее ждет. Вообще дать яйцеклетку или сперму намного проще, чем выносить и родить ребенка, дав ему свою кровь, плоть, но, правда, не гены. Перспективен ли данный метод деторождения? Мне кажется – нет. Хотя, если люди готовы делать деньги любым способом, если перед женщиной встает дилемма – идти на панель или предложить себя на роль «матери-несушки», такой метод может и привиться».

Другая точка зрения у профессора Колумбийского университета Р. Мэсленда: «Я не думаю, что в случае использования матерей-суррогатов мы сталкиваемся с чем-то аморальным. В этом случае у нас есть куда более острые и трудные для решения моральные проблемы, чем новые способы сотворения ребенка. Я имею в виду, скажем, нравственную защиту детей. Так называемая сексуальная революция, легкомысленное отношение части общества к сексу, к брачным связям – все это калечит ребенка, калечит его нравственность. И это, мне кажется, куда более основательный повод для тревоги, чем вторжение науки в тайны зачатия. И мать-суррогат, и «социальная» мать, обе они хотят ребенка, готовы дать ему кров, воспитать его. В конце концов, общество выработает моральный закон, что регулировать эти отношения. Страшнее, когда в результате пороков общества ребенок приходит в мир, где он никому не нужен» [3]. Здесь особенно четко прослеживается нарушение основного принципа медицинской этики – «не навреди». Кто даст гарантию матери, что ребенок, зачатый путем ЭКО, родится психически и физически здоровым?! Этот вопрос остается открытым. Вы-

ходит, что репродуктивные технологии решают проблему бесплодия в стране, но в то же время влекут за собой ряд негативных последствий.

Репродуктивные технологии все чаще заставляют думать нас о том, что означает быть родителем? Три возможных значения статуса родителя: родитель как «биология» (биологические родители); родитель как намерение; родитель-childrearing (воспитание детей – социальные родители). Ребенок, рожденный женщиной, которая является также его генетической матерью – ее биологический ребенок однозначно. Мужчина, поставляющий сперму – биологический отец. Биологические родители – это те, кто, как минимум, зачал и родил человека, а как максимум – снабжал его пищей, жильем, иными базовыми ресурсами вплоть до обретения им самостоятельности. Статус родителя-намерение, означает, что женщина и мужчина намереваются (планируют, желают) иметь ребенка. Наконец, социальный родитель – тот, который обеспечит ребенка в его нуждах: забота, ласка, эмоциональный контакт. Социальные родители являются опорой ребенка при начале самостоятельной жизни [4]. Считается, что наиболее благополучный статус родителя для общества – союз трех предложенных вариантов.

Сегодня, в нашем промышленном мире, ЭКО – это мероприятие, представляющее для практикующих врачей экономический интерес. Жизнь человека имеет тенденцию обесцениваться, когда на другой чаше весов находится материальное благосостояние. Возникает новая индустрия: закупающийся «рынок» половых клеток, «аренда» матки для беременности. Единственный эффективный барьер – это соотношение стоимости и выгоды. Все, что может сделать сторонник нравственности, – это клеймить человеческое безумие, напоминая, что следовало бы делать и чего не следовало бы делать, если внимать доводам рассудка и мудрости [3].

При суррогатном материнстве не существует никакого генетического родства между суррогатной матерью и ребенком. Юридические аспекты этого метода воспроизводства определены российским законодательством. Согласно Семейному кодексу Российской Федерации, во-первых, суррогатное материнство в РФ разрешено, а во-вторых, право определять судьбу ребенка предоставлено суррогатной матери. Согласно ст. 51 ч. 4: «лица, состоящие в браке между собой и давшие свое согласие в письменной форме на имплантацию эм-

бриона другой женщине в целях его вынашивания, могут быть записаны родителями ребенка только с согласия женщины, родившей ребенка (суррогатной матери)... Супруги, давшие согласие на имплантацию эмбриона другой женщине, а также суррогатная мать не вправе при оспаривании материнства и отцовства после совершения записи родителей в книге записей рождений ссылаться на эти обстоятельства» (ч.3. ст.52). Моральная несостоятельность «суррогатного материнства» в том, что оно неизбежно вводит в репродуктивный процесс третью сторону. При этом не имеет значения, непосредственно ли забеременела «суррогатная мать» от спермы отца или просто приняла в себя зиготу, оплодотворенную в чашке Петри. В любом случае популярное выражение «матка на прокат» указывает на морально-этическую сомнительность этой процедуры [2].

Бесспорно, репродуктивные технологии ставят под вопрос такие традиционные понятия, как «отец», «мать», «родители», именно поэтому требуют глубокого изучения. Имеется в виду морально-этическая сторона, которая предполагает осмысление проблемы именно на философском уровне. Таким образом, вспомогательные репродуктивные технологии, хоть и являются одним из методов разрешения проблемы бесплодия в стране, все-таки влекут за собой определенные последствия не столько медицинского, сколько этического-философского характера.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». – URL: <http://www.rg.ru/2011/11/23/zdorovie-dok.html> (дата обращения: 20.12.2011).
2. Биомедицинские технологии зачатия человека [Электронный ресурс] / Единое Отечество – URL: <http://www.otechestvo.org.ua/main/20073/2317.htm> (дата обращения: 10.01.2012).
3. Филиппов О.С. Вспомогательные репродуктивные технологии: взгляд через призму биоэтики / О.С. Филиппов // Проблемы репродукции. – 2004. – № 2 – С. 38-40.
4. Murray T.H. Genetic ties and genetic mixups / T.H. Murray, G.E. Kaebnick // Journal of medical ethics. – 2003. – № 29. – P. 68-69.

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## СЕКЦИЯ 8

### ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

<b>УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРЕВА ПОДЗЕМНЫХ ПЛАСТОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ СПОСОБОМ</b> <u>Аверьянов С.В.</u> , Мартемьянов С.М.....5	<b>ОБОСНОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ «СУХОГО» ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА</b> <u>Губайдулин И.М.</u> , Вильхивская О.В.....15
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ</b> <u>Антони Н.Е.</u> , Чурсин Ю.А.....7	<b>СПОЛЬЗОВАНИЕ НИТРАТА КАЛИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <u>Гуслякова В.М.</u> , Меринова Л.Р.....17
<b>ОСОБЕННОСТИ ГИБКИХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН И ЭЛЕКТРОХРОМАТОГРАФИЮ</b> <u>Балашков В.С.</u> , Вергун А.П., Дрогалев А.С.....9	<b>ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИОНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПИЧЕСКИХ ИОНОВ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ВЕЩЕСТВ</b> <u>Дрогалев А.С.</u> , Балашков В.С., Вергун А.П.....19
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВБЛИЗИ МИШЕНИ</b> <u>Блеко В.В.</u> , Соболева В.В., Шевелёв М.В.....11	<b>ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КАМЕРЫ CORDIN 530 В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ</b> <u>Дьячковский А.С.</u> .....21
<b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА</b> <u>Губайдулин И.М.</u> , Драгунов А.В.....13	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ СБОРА СФАГНОВЫХ МХОВ НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ</b> <u>Емельянова А.П.</u> .....23
	<b>ФОРВАКУУМНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПЛАВКИ, СВАРКИ И МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ</b> <u>Зенин А.А.</u> , Казаков А.В., Климов А.С.....25

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ВЧ  
ПЛАЗМЕ**

Д.А. Ижойкин,  
И.А. Ушаков.....27

**СИНТЕЗ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНOK В  
ПЛАЗМЕ НАНОСЕКУНДНОГО  
ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА**

Кованцев А. С., Сачков В. И.,  
Сосновский С. А......29

**МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ  
ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ  
ОТ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ  
ПИГМЕНТОВ**

Корепанова Н.В., Копылов А.В.,  
Каренгин А.А......31

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИК  
ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ОТ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ЭКРАНА  
КОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ**

К.О. Кручинин,  
Ю.С. Талаева.....33

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ  
ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

И.А. Курский,  
А.А. Пастухов.....35

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА  
ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗА  
2006-2011ГГ. В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ  
Г. ТОМСКА**

Лейсле Р.И.,  
Федулов А.А......37

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ  
ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ  
ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

А. И. Лизунов,  
И. В. Волошин.....39

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
МНОГОАПЕРТУРНОЙ СИСТЕМЫ  
УСКОРЯЮЩЕГО ПРОМЕЖУТКА  
В ИМПУЛЬСНОМ ФОРВАКУУМНОМ  
ИСТОЧНИКЕ ЭЛЕКТРОНОВ**

Юшков Ю.Г., Медовник А.В.,  
Малышкин А.А......41

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ  
ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ  
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

Мартемьянов С.М., Маслов А.Л.,  
Аверьянов С.В......43

**РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
КОМПОНЕНТ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
ПОЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**

Мискун И.А., Луценко Ю.Ю.,  
Зеленецкая Е.П......45

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО  
ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕ  
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**

Мискун И.А., Луценко Ю.Ю......47

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ  
РАДИАЦИОННЫХ  
ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ  
ОТРАБОТАННОГО ШТАТНОГО,  
РЕГЕНЕРИРОВАННОГО И МОХ-  
ТОПЛИВА В СРАВНЕНИИ**

Никифоров М. А.,  
Вильхивская О. В......49

**ИЗМЕНЕНИЕ МЕЖАТОМНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ  
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Петрова В.Н.,  
Тишкова В.С......51

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА  
ХИМИЧЕСКИХ  
ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ОТ  
ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА**

Покровская Е.А., Родионова Е.П....53

<b>МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННЕПРИСУЩИХ ПРИЗНАКОВ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> <u>Седнев Д.А.</u> .....55	<b>ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЕЙ БЕТА - И ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЙ</b> <u>Черепнев М.С.</u> , <u>Яковлева В.С.</u> .....69
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН</b> <u>Соболева В.В.</u> , <u>Блеко В.В.</u> , <u>Шевелёв М.В.</u> .....57	<b>ВКЛАД РАДОНА В АТМОСФЕРНЫЕ ПОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ</b> <u>Черепнев М.С.</u> , <u>Яковлева В.С.</u> .....71
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ТЕТРАФТОРОБРОМАТОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ</b> <u>Соболев В.И.</u> .....59	<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАМЕРЫ «CORDIN 530» ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ</b> <u>Чупашев А.В.</u> .....73
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫГОРАЮЩЕГО ГАДОЛИНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ</b> <u>Соколовская Е.А.</u> .....61	<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ОЦЕНИТЬ ОБЪЕМНУЮ АКТИВНОСТЬ ВЫБРОСА ВНУТРИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ОБЪЕКТА МОНИТОРИНГА</b> <u>Чурсин Ю.А.</u> , <u>Антони Н.Е.</u> .....75
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРОБОЯ ПРЕССОВАННЫХ ПОРОШКОВ ТЭНА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ</b> <u>М. К. Тогайбаев</u> .....63	<b>ПЛАЗМЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ</b> <u>Шахматова О.Д.</u> .....77
<b>ОЦЕНКА РИСКОВ И УГРОЗ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ПАТЭС</b> <u>Халявин И.В.</u> .....65	
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <u>Черепенников Ю.М.</u> .....67	

---

## СЕКЦИЯ 9

# КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

**ПРИМЕНЕНИЕ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ  
ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ  
НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ**

Алексеева М.Н., Яценко И.Г.,  
Перемитина Т.О......81

**ДЕЛЕГИРОВАНИЕ ПОЛНОМОЧИЙ**  
Виштель Ю.Г......83

**РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ  
РОСТА РАСТЕНИЙ  
КОМБИНИРОВАННОЙ  
МИКРОРЕЗОНАНСНОЙ  
БИОАКТИВАЦИЕЙ**  
И.Г.Грабар,  
Ю.В. Березенский......85

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ  
БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ  
МЕХАНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**  
Осипов К.Ю., Данн Д.Д......87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО  
СОСТАВА  
НЕФТЕЙ ЗАПАДНОГО  
КАЗАХСТАНА**  
Ибрагимов Н.А.,  
Бибишева И.И......89

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕТАТРОНА С  
ДУАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ  
ДЛЯ КОМПЛЕКСА  
ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ**  
Касьянов С.В., Ковалев М.К......91

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ  
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**  
Колмакова Н.Н.,  
Бабилов С.А......93

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ  
ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ  
АНАЛИТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ  
МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ  
НЕФТЕОТДАЧИ**  
Кононов Ю.М.,  
Иванов Е.Н......95

**РАЗРАБОТКА  
ИНТЕГРИРОВАННОЙ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ  
ПОЛИТИКИ АДМИНИСТРАЦИИ  
ГОРОДА ТОМСКА**  
Кулешова Д.И., Краюшкина О.А.,  
Фоминых Е.В......97

**ПРОБЛЕМЫ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**  
Я. А. Маркина......99

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА  
КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННОГО  
АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**  
Миннигалиева Ж.Ф.,  
Филонина Е.А......101

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ВЫБРОСОВ ОТ  
ЭНЕРГООБЪЕКТОВ  
Г. НОВОСИБИРСКА**  
Мухина В.А......103

<b>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДА ИНЖЕНЕРА-ТЕХНОЛОГА ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ</b> <u>Осипович Д.А.</u> .....105	<b>НЕОБХОДИМО ЛИ В РОССИИ ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ISO 50001?</b> <u>Савельева В. А.</u> .....119
<b>СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОБЛЕМА АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ</b> <u>Ю.А. Пашкова.</u> .....107	<b>УПРАВЛЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ СТУДЕНТОВ: ОПЫТ УПОРЯДОЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВУЗА</b> <u>Сафина А.Ф.</u> .....121
<b>ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА</b> <u>Пашина С.А.</u> .....109	<b>ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА В РОССИИ</b> <u>Семенова Е.А., Бюллер А.К.</u> .....123
<b>УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ</b> <u>Пилюгин Г. А.</u> .....111	<b>ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА</b> <u>Славгородская О.И., Бондалетов В.Г.</u> .....125
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕЧИ</b> <u>Писаревская Е.А.</u> .....113	<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ</b> <u>Солонкова В.В.</u> .....127
<b>СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И СОХРАНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ОБЪЕКТАХ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА В ГОРОДЕ ТОМСКЕ</b> <u>Поляков М.В., Полякова А.В.</u> .....115	<b>МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ АНТИТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК</b> <u>Станкевич В.С., Коновалов К.Б.</u> .....129
<b>ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ»</b> <u>Риферт К. П.</u> .....117	<b>РЕЙТИНГОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЕМЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ</b> <u>Суздalова Д.А., Гельфрих А.С.</u> .....131

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ  
ВНУТРЕННИХ АУДИТОВ  
СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА  
КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**  
Терентьева Н.А......133

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-  
СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА  
КЕРАМИЧЕСКОГО**  
Терёхина Ю.В., Котляр В.Д.,  
Небежко Ю.И......135

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
МЕТОДА ПАРКЕРА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ**  
Фалилеев А.Д......137

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА  
НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ,  
ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ПРИ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ  
ОБЕСПЕЧЕНИИ СРЕДСТВ  
ИЗМЕРЕНИЙ, НА ОСНОВЕ CALS-  
ТЕХНОЛОГИИ**  
Филатова Е.Ю......139

**РАСЧЕТ ПЕРВИЧНОГО  
МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА  
ПО НОРМИРУЕМЫМ  
ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ  
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**  
С. В. Ченцова......141

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В  
ЛОГИСТИКЕ**  
Черниченко К. С......143

**ТЕХНОЛОГИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
КОНТРОЛЯ  
КОЛЕСНЫХ ПАР:АСПЕКТЫ  
КАЧЕСТВА ДЕПОВСКОГО  
РЕМОНТА**  
Шашенко А.В.,  
Нармухан И.М......145

**НЕФТЯНОЙ ШЛАМ И  
ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ЕГО  
ИСПОЛЪЗОВАНИЯ**  
Эйвазова А. Г......147

## **СЕКЦИЯ 10 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ  
РЕЦИКЛА НЕВОДЯНЫХ РАБОЧИХ  
ТЕЛ В ТУРБИННОМ ЦИКЛЕ  
С ИСПОЛЪЗОВАНИЕМ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ  
РЕКТИФИКАЦИИ**  
Артемов В.Н......151

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ  
РЕЖИМОВ РЕЗЕРВУАРОВ  
ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ  
ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ**  
Аршанов А.А......153

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
МЕТОДОВ ОБЕССОЛИВАНИЯ  
СТОКОВ  
ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ ТЭЦ**  
Афанасьев К.Ю......155

**ИСПОЛЪЗОВАНИЕ  
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ГАЗА  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**  
Афанасьев К.Ю......157

**ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ РЕАГЕНТА ПО ДЛИНЕ  
КАНАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ  
АППАРАТОВ**

Ахметшин Е.А......159

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА  
В ТОПКЕ КОТЛА БКЗ-320-140 ОТ  
ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Васильев А.А., Дубровин С.П.,  
Н.В. Визгавлюст.....161

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
УСЛОВИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ОДИНОЧНОЙ КАПЛИ ВОДЫ С  
ПЛАМЕНЕМ**

Волков Р.С.,  
Стрижак П.А......163

**ПОТЕРИ ОТ УДАРНОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ  
ЖИДКОСТИ В СТУПЕНЯХ  
ЦИЛИНДРОВ НИЗКОГО  
ДАВЛЕНИЯ**

Волосач А.П......165

**КОЭФФИЦИЕНТ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ УВЛАЖНЕНИИ**

Воронина Ю. А......167

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ТОПЛИВОМ**

Воронцова Е.С.,  
Дорохова У.В......169

**АНАЛИЗ МАСШТАБОВ ВЛИЯНИЯ  
ФОРМЫ РАЗОГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ  
НА УСЛОВИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА  
ПРИ ЗАЖИГАНИИ ТВЕРДОГО  
КОНДЕНСИРОВАННОГО  
ВЕЩЕСТВА**

Глушков Д.О......171

**АНАЛИЗ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ  
ЦИКЛОВ АВИАЦИОННОЙ СКВ**

Горбачев М.В......173

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ  
ИЗБЫТОЧНОГО ВНУТРЕННЕГО  
ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВАКУУМНОЙ  
СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Горешнев М.А.,  
Шишков И.В......175

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
НИЗКОЭМИССИОННОГО  
ПОКРЫТИЯ НА ПОЛИМЕРНОЙ  
ПЛЕНКЕ**

Гренадёр А.С., Соловьев А.В.,  
Работкин С.В......177

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ  
АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ  
РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ  
СУПЕРПЕРЕГРЕВА  
И СУПЕРПРОМПЕРЕГРЕВА ПАРА**

Дорохова Н.С., Калугин Б.Ф......179

**НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ГТУ НА  
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Дьяченко А.С.,  
Абдрафиков Е.Ш......181

**ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ЦИКЛОВОЗДУШНО-  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Иванова А.П......183

**АНАЛИЗ ЗАМЕНЫ ПАРОВОГО  
ПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНЫХ  
НАСОСОВ БЛОКА К-500-24  
ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Калгин Д.Е., Галашов Н.Н......185

<b>РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ МЕТОДОМ ВЫРАВНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУР С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ</b> <u>Колесникова Е. А.</u> .....187	<b>АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА В УСЛОВИЯХ РАЗРУШЕНИЯ ОБМУРОВКИ</b> <u>Майнгардт В.А.</u> .....201
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРОВОЙ ФАЗЫ В ИНТЕРВАЛАХ РАЗОГРЕВА И ИНТЕНСИВНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ</b> <u>Кравчук А.С.</u> .....189	<b>УГОЛЬНО-ВОДОРОДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ПАРОВЫМИ ТУРБИНАМИ</b> <u>Максименков А.А.</u> .....203
<b>МАЛОГАБАРИТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ</b> <u>Кулямов П.В.</u> .....191	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ КАЗАХСТАНСКИХ УГЛЕЙ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА</b> Аскарова А.С., Болегенова С.А., <u>Максимов В.Ю.</u> , Бекмухамет А...205
<b>РАСЧЕТ РАСХОДНО- ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ПГУ С ФРЕОНОВОЙ ПАРОТУРБИННОЙ СТУПЕНЬЮ</b> <u>Курьянов А.А.</u> .....193	<b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТОПОЧНОЙ СРЕДЫ КАМЕРНОЙ ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА УГРУБЛЕННОГО ПОМОЛА</b> <u>Мамаев А.К.</u> , Бетхер Т.М., Гиль А.В. ....207
<b>ПРОБЛЕМЫ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭБ АЭС</b> <u>Лавриненко С.В.</u> .....195	<b>ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ</b> <u>Мартемьянов С.М.</u> , Маслов А.Л., Аверьянов С.В. ....209
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТУРБИН ВЛАЖНОГО ПАРА</b> <u>Лавриненко С.В.</u> .....197	<b>ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТОЙ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <u>Мартюшев С.Г.</u> , Шеремет М.А. ....211
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТАЛОВСКОГО УГЛЯ</b> <u>Мазаник А.С.</u> , <u>Табакаев Р.Б.</u> .....199	<b>РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ В ПРОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ</b> <u>Моисеева К. М.</u> .....213

**ОЦЕНКА ПЕРЕХОДА ОТ  
ВИБРОСМЕЩЕНИЯ К  
ВИБРОСКОРОСТИ  
ПРИ ДИАГНОСТИКЕ  
ПОДШИПНИКОВ**  
Москалёв И.Л.,  
Савостьянова Л.В.....215

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ  
В ТОПКЕ КОТЛА БКЗ-420-140-2**  
Мурзина А.С.,  
Гиль А.В.....217

**ФОРМИРОВАНИЕ  
ОКИСЛОЖЕЛЕЗНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
В ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ  
ДВУХБАРАБАННЫХ КОТЛОВ**  
Орлова Л.В......219

**ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ПАРОВОГО  
КОНТУРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ОДНОКОНТУРНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ  
УСТАНОВКИ**  
Орлов А.С......221

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕПЛОМАССОБМЕНА SF6  
В ОБРАТНОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА  
С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ  
«ЖИДКОСТЬ - ТВЕРДОЕ ТЕЛО»**  
Паянен Р.И......223

**ОБ ОТКЛОНЕНИИ  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ  
РАБОТЫ  
ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**  
Пинигин В.В.,  
Батухтин А.Г.....225

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ  
ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В  
НЕПРОТОЧНОМ ДЛЯ ГАЗА  
КАНАЛЕ**  
Польгуль А.М......227

**ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ  
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**  
Понуровская В.В......229

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКОЙ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ  
РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**  
Работаев С.А......231

**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА  
КОНЦЕНТРАЦИЮ ВОДЯНЫХ  
ПАРОВ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ В  
ВИХРЕВОЙ ЗОНЕ ТОПОЧНОЙ  
КАМЕРЫ**  
Родина Л.Ю., Орлова Л.В......233

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ  
МЕТОДОМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО  
НАГРЕВА**  
Рожков А.В.,  
Молодов С.В.....235

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА  
СОГЛАСОВАНИЯ БАЛАНСОВ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИНФОРМАЦИОННО –  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЭП ТЭЦ**  
Сафронов А.В......237

<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</b> Синяков И.В., Тамонин А.В.....	239	Максимов В.И.....	249
<b>ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ СВЧ-НАГРЕВА УГЛЯ</b> Сладков С.О.....	241	<b>ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ВО ВЛАГОУСТОЙЧИВОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ</b> Хабибулин А.М.....	251
<b>ЭКОНОМИЯ ТЕПЛА НА ТЭЦ С ОДНОЦИЛИНДРОВЫМИ ТУРБИНАМИ РАЗЛИЧНОГО ДАВЛЕНИЯ</b> Смоляров А.С.....	243	<b>КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ</b> Хаустов С.А.....	253
<b>ПРИНЦИПЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СМАЗОЧНЫХ СИСТЕМАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ</b> Степанов В. В., Пак Н.К., Абрамчук И.П.....	245	<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ТУРБИННОГО БУРЕНИЯ</b> Хмара Г.А.....	255
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА</b> Сунгатуллина В.И.....	247	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАСС В УСЛОВИЯХ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ</b> Хузеев В.А.....	257
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ</b> Ударцев Е.И.,		<b>СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ ПО СТЕПЕНИ УГЛЕФИКАЦИИ</b> Кызычаков В.С., Нестерова М.А., Табакаев Р.Б.....	259
		<b>АКУСТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ФРОНТА ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА</b> Шаталова Н.В.....	261

---

# СЕКЦИЯ 11

## ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

**ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ЛИТЬЕ ПО  
ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ.  
МОТИВЫ РУССКОГО НАРОДНОГО  
КОСТЮМА В СОВРЕМЕННЫХ  
ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЯХ**  
Большакова В.В.  
Оголь И.И.....265

**ДИЗАЙН КАК ОСОБАЯ СФЕРА  
ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**  
Вьюношева Ю.В.  
Петрова С.Г.....267

**ДИЗАЙН НОВОГОДНЕЙ ВИТРИНЫ  
«ИГРА В СНЕЖКИ»**  
Евсютина Е.С......269

**ПРАВИЛА КОМФОРТНОГО  
ОСВЕЩЕНИЯ**  
Зайцева В.Н., Бурякова А. С.,  
Черевкова Я. В.....271

**РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ  
МОДЕЛИ ДЛЯ АРХИТЕКТУРНОГО  
ОСВЕЩЕНИЯ ВОСКРЕСЕНСКОЙ  
ЦЕРКВИ**  
Зверева Н.В......273

**АРХИТЕКТУРНО-  
ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
КУРОРТНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ШАХТЁРОВ  
С УЧЁТОМ ИХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ  
АДАПТАЦИИ  
(НА ПРИМЕРЕ ДОНБАССА)**  
Зёма О. В......275

**РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЕ  
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ  
В ТЕХНОЛОГИЯХ  
ХУДОЖЕСТВЕННОЙ  
МЕТАЛЛООБРАБОТКИ**  
Зуев А.В......277

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ В  
БАРОККО И НЕОБАРОККО**  
Ионова И.А.,  
Соколов А.П.....279

**ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ  
УКРАШЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ  
ГЛИНЫ**  
Ковалева С.Д......281

**ЭТНО-ДИЗАЙН ДЕКОРАТИВНЫХ  
ПАННО**  
Кокарева Д.Ю......283

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ  
МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ТКАНИ**  
Крайняя Р.Г......285

**ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ  
АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ**  
Литвинов К.Ф......287

**ХИМИЧЕСКОЕ ГНУТЬЕ  
ДРЕВЕСИНЫ**  
Манакон В.Н......289

**ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ БАРНОЙ  
СТОЙКИ**  
Мешкова Н.И.,  
Серяков В.А.....291

**НОВЫЙ ПОДХОД К МАТЕРИАЛАМ  
ДЛЯ МОЗАИКИ**  
Мухина Т.С.,  
Петрова С.Г.....293

**КЕРАМИЧЕСКАЯ МОЗАИКА С  
ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ  
КАК ДЕКОРАТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ В  
СОВРЕМЕННОМ ИНТЕРЬЕРЕ**  
Новикова А.С.,  
Тугова С.А.....295

<b>ДИНАМИКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЕШАЛКИ-МАНЕКЕНА И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ</b> <u>Пелевин Е.А., Соколов А.П.</u> .....297	<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА</b> <u>Токарев В.Е.</u> .....313
<b>АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ТОМСКОГО ЗОДЧЕГО В. П. МИХАЙЛИКА</b> <u>Прохоренко Ю.В.</u> .....299	<b>ДЕКОРАТИВНАЯ ОТДЕЛКА ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ</b> <u>Топорова В.С., Петрова С.Г.</u> .....315
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ "ЗЕЛЕННЫХ" ЗОН ПОМЕЩЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДОВОГО ДИЗАЙНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭСТЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ</b> <u>Пугачёва А.Е.</u> .....301	<b>НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В ДИЗАЙНЕ</b> <u>Третьякова К.Б., Соколов А.П.</u> .....317
<b>ЮВЕЛИРНЫЙ ДИЗАЙН МОХОВОГО АГАТА</b> <u>Пустозерова О.Л.</u> .....303	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВОВ-ОСНОВ ПОД ЖИВОПИСНЫЕ ЭМАЛИ</b> <u>Федяева Т.Н., Петрова С.Г.</u> .....319
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БИОНИКИ И ДИЗАЙНА</b> <u>Сайкина Ю.А., Соколов А.П.</u> .....305	<b>УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ В ДИЗАЙНЕ</b> <u>Чичёв А. А.</u> .....321
<b>ПРОЦЕДУРНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ 3D ОБЪЕКТОВ В ДИЗАЙНЕ</b> <u>Семенихин Д.В.</u> .....307	<b>ИНФОГРАФИКА В ДИЗАЙНЕ ПРЕЗЕНТАЦИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФРАНЦУЗСКОМУ ЯЗЫКУ В РАЗНОУРОВНЕВЫХ ГРУППАХ</b> <u>Шарафутдинова З.С.</u> .....323
<b>ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МРАМОРОВ ДЛЯ ПОРТАЛОВ КАМИНОВ РАЗЛИЧНОГО ДИЗАЙНА</b> <u>Сукманов А. А.</u> .....309	<b>ТРОЙНАЯ НЮ-МОЗАИКА</b> <u>Яна Рудер, Людмила Шель</u> .....325
<b>ОСВЕЩЕНИЕ ИКОН В ЭКСПОЗИЦИИ НОВГОРОДСКОГО МУЗЕЯ- ЗАПОВЕДНИКА</b> <u>Тимон В. Г.</u> .....311	<b>ДИЗАЙН КОВАНЫХ ЖУРНАЛЬНЫХ СТОЛИКОВ</b> <u>Шишова А. А., Акентьева О. Е.</u> .....227
	<b>УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ФИГУР В ДИЗАЙНЕ</b> <u>Щербинина А.А., Соколов А.П.</u> .....229

---

## СЕКЦИЯ 12 НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ И НОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТИТАНА  
НА ЕГО ТЕРМИЧЕСКУЮ И  
КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ**  
Божко П.В.,  
Коршунов А.В.....333

**ИМУЛЬСНАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ  
ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ  
GAN**  
Васенев А.С.,  
Степанов С. А.....335

**ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОННЫМИ  
ПУЧКАМИ Zr+  
НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА СТАЛИ ЭК-181**  
Ветова Н.А.,  
Синякова Е.А.....337

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ  
ПУЧКОМ ИОНОВ Zr+ НА  
ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ  
ПРОЧНОСТИ  
СТАЛИ 12Х1МФ**  
Власов И.В.,  
Панин С.В., Сергеев В.П.....339

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА  
ПОДЛОЖКИ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ,  
ПОЛУЧАЕМЫХ  
ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ  
РАСПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ**  
Гавриленко А.С.,  
Забугин А.В.....341

**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА  
ПРОЧНОСТНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПОЛИУРЕТАНОВ ГОРЯЧЕГО  
ОТВЕРЖДЕНИЯ**  
Горбунов Ф.К.,  
Байкина Л.К.....343

**ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА НАНОСЛОИСТЫХ  
ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ CR-AL-N**  
Гордийчук Д.А., Сергеев В.П.,  
Воронов А.В.....345

**ФОРМИРОВАНИЕ  
МНОГОСЛОЙНОЙ РЕЗИСТИВНОЙ  
МАСКИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕРМИЧЕСКОГО ОПЛАВЛЕНИЯ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
СУБМИКРОННОГО Т-ОБРАЗНОГО  
ЗАТВОРА ТРАНЗИСТОРА**  
Гребнева Ю. Ю.,  
Иштуткин С. В.....347

**ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
АКТИВАЦИИ И КРУЧЕНИЯ ПОД  
ДАВЛЕНИЕМ  
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
МЕХАНОКОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ Nb И СИСТЕМЫ Nb-Al**  
Денисов К.И......349

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ  
НАНОПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА  
ПРОВОДНИКА**  
Диденко С.С.,  
Пустовалов А.В.....351

**СИНТЕЗ СМЕСИ  
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДА  
И НИРИДА БОРА  
И ИЗУЧЕНИЕ ЕЁ ХАРАКТЕРИСТИК**

Дюкова К.Д., Баннов А.Г.,  
Батаев И.А.....353

**СИНТЕЗ НИТРИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ  
IV ГРУППЫ ПОБОЧНОЙ  
ПОДГРУППЫ**

Звягинцева Е.С.,  
Шинкевич Е.В.....355

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ  
АКТИВНОСТИ ПОРОШКОВ  
АЛЮМИНИЯ**

Коротких А.Г., Ионова И.А.,  
Карпович М.К.....357

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ  
ОКИСЛЕНИЯ И ГОРЕНИЯ  
ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ**

Коротких А.Г., Ионова И.А.,  
Карпович М.К......359

**ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ НА НЕСУЩЕЙ NiZr  
ОСНОВЕ**

Ковальчук А. Н., Ионов И. В.,  
Мазной А. С.....361

**2-  
(ДИФЕНИЛФОСФОРИЛ)АЦЕТОГИДРА  
ЗИД. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА**

Крутов И.А., Сайфутдинова М.Н.,  
Шаталова Н.И.....363

**ТЕСТ-СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ  
ТЕМПЕРАТУРНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК  
СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ  
НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР**

**НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ  
РАСТВОРОВ AlGaN И GaInN**  
Менькович Е.А.,  
Ламкин И.А.....365

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА  
АДСОРБЦИИ**

**ДОКСОРУБИЦИНА НА  
ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДНОМ СОРБЕНТЕ**  
Митькина В.А.,  
Рязанова Т.А.....367

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ  
ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ**

Мошкина А.В., Роденко О.Л.,  
Гущин В.А.....369

**СИНТЕЗ И ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

**N-ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ  
КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОВ  
И МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
НА ИХ ОСНОВЕ**

Мушлайкина Л.А., Петрова А.В.,  
Сайфутдинова М.Н.....371

**ФОРМИРОВАНИЕ  
ИЗНОСОСТОЙКИХ  
МНОГОСЛОЙНЫХ  
НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМ Zr-Y-O И Si-  
Al-N МЕТОДОМ  
МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МИШЕНЕЙ**

Никалин А.Ю., Сергеев В.П.,  
Нейфельд В. В.,  
Калашников М. П.....373

**ПОЛУЧЕНИЕ БИОСОВМЕСТИМЫХ  
НАНОМАТЕРИАЛОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА  
РАСТВОРНОГО СВС**

Новиков В.А.,  
Амосов А.П.....375

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА  
УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА  
ДИОКСИДА ЦЕРИЯ,  
ПОЛУЧЕННОГО**

**ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**  
Обходская Е.В., Сачков В.И. ,  
Сосновский С.А.....377

<p><b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РАСЧЕТА СВЕТОВОГО РЕЖИМА В СЛОЕ ДИФфуЗНО РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ</b>  <u>В. А. Овчинников</u>.....379</p> <p><b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПОЛУБЕСКОНЕЧНОМ СЛОЕ ДИФфуЗНО РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>  <u>В. А. Овчинников</u>.....381</p> <p><b>ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИКИ КАРБИДА БОРА ПРИ ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ</b>  <u>Омаров Г.Ж., Саенко Л.В., Хасанов А.О.</u>.....383</p> <p><b>УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ (TiAlSi)N, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ ИЗ СВСПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ</b>  <u>Карпов Н.А., Орлов И.И.</u>.....385</p> <p><b>ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НАНОПОРОШКА НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub></b>  <u>Петрова О.В., Задорожная О.Ю., Гайдайчук Е.В.</u>.....387</p> <p><b>ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ СТРУЕ БОР-УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ</b>  <u>Рахматуллин И.А., Шаненков И.И.</u>.....389</p>	<p><b>ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ УСТРОЙСТВ</b>  <u>С.А.Серенко</u>.....391</p> <p><b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПОРИСТОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ</b>  <u>Смирнова В.В., Божко П.В., Коновчук Т.В.</u>.....393</p> <p><b>ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ДИЭЛЕКТРИКОВ НАНОМЕТРОВОЙ ТОЛЩИНЫ</b>  <u>Федин И.В., Ионов Е.А.</u>.....395</p> <p><b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ТВЁРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>  <u>Цыбенко А.О., Терентьев Д.Н., Жмуровских А.В.</u>.....397</p> <p><b>СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ ХЛОРБЕНЗОЛА НА CoO/SiO<sub>2</sub> КАТАЛИЗАТОРАХ</b>  <u>Чичкань А.С.</u>.....399</p> <p><b>О ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА КАРБИДА БОРА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ СТРУЕ БОР-УГЛЕРОДНОЙ ПЛАЗМЫ</b>  <u>Шаненков И.И., Рахматуллин И.А.</u>.....401</p>
---	---

**ВЛИЯНИЕ  
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ  
НА ОСОБЕННОСТИ  
МИКРОСТРУКТУРЫ ПОРОШКА  
ТАНТАЛА**  
Швец И.А., Денисов К.И......403

**РАЗРАБОТКА ПИЛОТНОЙ  
УСТАНОВКИ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА  
И ВОДОРОДА  
КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ  
МЕТАНА ПОД ДАВЛЕНИЕМ**  
Шибяев А.А., Шинкарев В.В.,  
Попов М.В., Соловьев Е.А......405

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ВОДОРОДА В СМЕСИ  
ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА  
И УГЛЕРОДНОГО  
НАНОМАТЕРИАЛА**  
Косицын В.С., Жерлицын А.Г.,  
Шмелёв И.А......407

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО  
ПОТЕНЦИАЛА В СУСПЕНЗИЯХ НА  
ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ  
ОКСИДА ЦИНКА**  
Юнда Е.Н.,  
Миляева С.И......409

## **СЕКЦИЯ 13 КРУГЛЫЙ СТОЛ «ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ»**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ  
РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ДЕТЕРМИНИЗМА**  
Абдрозяков С.Д., Жидков А.В......413

**ИСКУССТВЕННЫЙ РАЗУМ –  
ВЗГЛЯД В НЕДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ**  
Абрамичев В.Г......415

**ФИЛОСОФСКИЙ ВЗГЛЯД НА  
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ  
ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ  
И СТАТУС АГРОИНЖЕНЕРА В  
ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ**  
Букатин А.Д......417

**ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИКИ И  
ОБЩЕСТВА**  
Воробьева В.В......419

**ЭКОЛОГИЗАЦИЯ МЫШЛЕНИЯ  
СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА  
КАК ВАЖНАЯ КОМПОНЕНТА ЕГО  
ОБРАЗОВАННОСТИ И БЫТИЯ**  
Иванова Е. М., Горшкова О. А....421

**ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОКАЗАНИЯ  
ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ  
ПОМОЩИ В ПАЛЛИАТИВНОЙ  
МЕДИЦИНЕ**  
Корелина Е.В......423

**ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БИОНИКИ И  
ДИЗАЙНА**  
Сайкина Ю.А., Соколов А.П......425

**ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ:  
АМПЛИФИКАЦИЯ С ПОЗИЦИЙ  
МАТЕМАТИКИ И  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ**  
Степанов К.А......427

**ПРОБЛЕМА СТАТУСА РОДИТЕЛЕЙ  
В РЕПРОДУКТИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЯХ**  
Шайхутдинова Л. К......429

Научное издание

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ  
XVII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 3

Компьютерная верстка Зольникова Е.К.

Дизайн обложки А.М. Петелин

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.06.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л.52,0. Уч.-изд. л.47,02.  
Заказ 000-12. Тираж 250 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)