

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

## ЭНЕРГИЯ-2016

ОДИННАДЦАТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

5-7 апреля 2016 г.  
г. Иваново

ТОМ 2

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»  
Российский национальный комитет СИГРЭ (Молодежная секция)  
Академия электротехнических наук РФ

---

## **ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**

# **«ЭНЕРГИЯ-2016»**

ОДИННАДЦАТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

**г. Иваново, 5-7 апреля 2016 г.**

## **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 2**

---

ИВАНОВО

ИГЭУ

2016

УДК 621 + 62.7 + 53  
ББК 31 + 22.3 + 20.1

**ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ** // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2016»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2016. – 200 с.

**ISBN 978-5-00062-158-5**  
**ISBN 978-5-00062-161-5 (Т.2)**

Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых отражает основные направления научной деятельности в области тепловой, атомной энергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами тепловой, атомной энергетики и проблемами обеспечения безопасности в техносфере.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель оргкомитета:** **ПЮТИКОВ В.В.**, проректор по научной работе.

**Зам. председателя:** Макаров А.В., начальник управления НИРС и ТМ.

**Члены научного комитета:** Плетников С.Б. – декан ТЭФ; Андрианов С.Г. – декан ИФФ; Сорокин А.Ф. – декан ЭЭФ; Егоров В.Н. – декан ЭМФ; Кокин В.М. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ; Гофман А.В. – рук. МС РНК СИГРЭ.

**Ответственный секретарь:** Вольман М.А.

**Секретарь:** Иванова О.Е.

**Координационная группа:** Маршалов Е.Д., Шадриков Т.Е., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А., Ведерникова И.И., Власов А.М., Шадрикова Т.Ю., Ильченко А.Г.

## СЕКЦИЯ 8

### АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

*Председатель – к.т.н., доц. А.Г. Ильченко*

*Секретарь – ст. преп. М.А. Вольман*

*Г.С. Ахметшина, магистр.;*

*рук. Г.В. Кузнецов, д.ф.-м.н, профессор*

*(НИТПУ, г. Томск)*

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ НА СТАЦИОНАРНОМ УРОВНЕ МОЩНОСТИ

Настоящий этап развития атомной энергетики неразрывно связан с совершенствованием атомных электростанций с целью улучшения их экономических и эксплуатационных характеристик, и повышения безопасности. Разработка и обоснование систем безопасности требует проведения значительного комплекса теплофизических исследований ядерных энергетических установок [1].

Целью данной работы является численное исследование теплового состояния тепловыделяющей сборки (ТВС) и эвтектики свинец-висмут на стационарном уровне мощности.

Исходя из условий осевой симметрии, для расчета был выбран сегмент 1/12 части испытательной секции тепловыделяющей сборки, включающий твэлы, участки тракта охлаждения и шестигранного чехла.

Процессы переноса тепла для рассматриваемого объекта будут описываться следующими соотношениями:

$$c_{тн} \left( \frac{\partial (\rho_{тн} T_{тн})}{\partial \tau} + \operatorname{div} (\rho_{тн} \vec{v} T_{тн}) \right) = -\operatorname{div} (\vec{q}) + q_v \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \tau} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + G_k - \rho \varepsilon - Y_M + S_k, \\ \frac{\partial}{\partial \tau} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_{1\varepsilon} (P_k + c_{3\varepsilon} G_k) \frac{\varepsilon}{k} - c_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

$$z = 0; \vec{V} = \vec{V}_0; T = T_{\text{вх}} \quad (3)$$

$$u_n = 0; \frac{du_n}{dx} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{du_c}{dx} = 0 \quad (5)$$

Обозначения:  $T_{\text{ТН}}$  - температура теплоносителя,  $\tau$  - время,  $\vec{v}$  - вектор скорости теплоносителя,  $\vec{q}$  - вектор теплового потока, учитывающий теплопроводность,  $q_v$  - эффективная плотность энерговыделения,  $\rho$  - плотность теплоносителя,  $u, \mu$  - декартовы составляющие скорости,  $\mu_t$  - кинематический коэффициент турбулентной вязкости,  $k$  - кинетическая энергия турбулентности,  $\varepsilon$  - скорость диссипации кинетической энергии турбулентности,  $P_k$  - слагаемое, характеризующее порождение турбулентности,  $G_k$  - слагаемое, описывающее диссипацию турбулентной кинетической энергии,  $S$  - инвариант тензора деформаций,  $Y_M$  - вклад переменного расширения при турбулентности сжатия в общую скорость диссипации.

Численные исследования выполнены с помощью программного комплекса ANSYS Fluent V14.0 [3].

Основные результаты исследования представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты численного исследования ТВС при работе на стационарном уровне мощности**

Параметр	Значение
Температура на входе в ТВС, К	593,15
Температура на выходе из ТВС, К	771,15
Расход теплоносителя на канал, кг/с	3,18
Скорость теплоносителя на входе в ТВС, м/с	0,338
Скорость теплоносителя на выходе из ТВС, м/с	0,499
Перепад давления (без учета атм. давления) по высоте канала, Па	1526,44
$T_{\text{макс}}$ оболочки твэлов, К	1102,92
$T_{\text{макс}}$ топлива, К	2026,23
$T_{\text{макс}}$ газа в зазоре твэлов, К	1345,94
$T_{\text{макс}}$ на стенке ТВС, К	786,66
$T_{\text{макс}}$ теплоносителя, К	1076,62

Построена математическая модель, полученные расчеты показали ее физическую адекватность. Получены тепломассообменные параметры, скорость движения, которые могут быть использованы в качестве производственных оценок проектирования инженерного обеспечения, расчетно-конструкторских работ.

#### Библиографический список

1. Сорокин А.Л., Зарюгин Д.Г. Состояние и перспективы работ по модернизации экспериментальной теплофизической и материаловедческой базы ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ»

// Сборник тезисов докладов на научно–технической конференции «Теплофизика – 2012». Обнинск. ГНЦ РФ–ФЭИ. 2012. С.10–12.

2. Смирнов Е.М., Габарчук А.В. Течения вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений: консп. лекций / С.-Петербургский гос.политехнический университет. – М., 2010. – 127с.

3. [www.ansys.com](http://www.ansys.com)

*Р.Т. Бартош, маг.; рук. Н.Б. Карницкий, д.т.н., проф.,  
(БНТУ, г. Минск)*

## **АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

Важнейшим элементом ядерного реактора является тепловыделяющая сборка, состоящая из тепловыделяющих элементов различных конструкций. В данной работе рассмотрены традиционная конструкция этих ТВЭЛов и инновационная с микротвэлами.

Тепловыделяющая сборка (ТВС) представляет собой герметичную трубку из циркония, легированного ниобием для увеличения пластичности. Температура плавления материала около 1900 °С, при температуре выше 350 °С прочностные свойства ухудшаются. Толщина оболочки 0,65 мм, наружный диаметр трубки 9,1 мм. Длина ТВЭЛа 3800 мм, масса — 2,1 кг. Внутри располагаются таблетки урана и пружина в верхней части, компенсирующая их тепловые перемещения.

В качестве ТВЭЛов используются таблетки диоксида урана с плотностью 10,4—10,7 г/см<sup>3</sup>, каждая с наружным диаметром 7,57 мм и высотой 20 мм. В середине таблетки имеется отверстие диаметром 1,2 мм, края скошены фасками. В качестве материала оболочки использовался сплав Э635 с 1 % Nb, 1—1,5 % Sn и 0,3—0,5 % Fe. Использование сплава Э635 объясняется важной ролью  $\alpha$ -твёрдого раствора, обогащённого железом. Внутреннее отверстие было уменьшено до 1,2 мм, максимальное обогащение увеличено до 5 %. Важным стало использование выгорающего поглотителя — оксида гадолиния, вносимого непосредственно в топливную матрицу. Это позволяет снизить избыточную реактивность свежего топлива с высоким обогащением. [1]

Для микротвэлов используются ТВС с поперечным обтеканием теплоносителя. Необходимость таких тепловыделяющих сборок обусловлена тем, что коэффициент сопротивления засыпки микротвэла очень велик. ТВС имеет наружный шестигранный чехол с перфорированными стенками, семь входных коллекторов в виде конуса также с перфорированными стенками, слой МТ, расположенный между ними в виде свободной засыпки, хвостовик и головку. Толщина стенок наружного чехла - 1мм, входных коллекторов - 0,5 мм. Наружный шес-

тигранный чехол выполнен из сплава NbCr10%Al, который рассчитан на температуру до 1400<sup>0</sup>С в аварийном режиме.

Особенности теплогидравлики ТВС с микротвэлами следующие: поверхность теплообмена в 10 раз больше, запас до кризиса теплообмена равен 20, максимальное приращение теплосодержания имеет место примерно в центре по высоте ТВС. Кипение в по высоте ТВС с микротвэлами позволяет эффективно реализовать спектральное регулирование. Одновременно возможен максимальной степени реализовать потенциал легководного теплоносителя за счёт повышения входной температуры до температуры насыщения (350<sup>0</sup>С), повышения параметров пара с КПД до 40%.

Микротвэл (МТ) имеет трёхслойную оболочку и сердечник из UO<sub>2</sub>. Наружное покрытие выполнено из карбида кремния. Такое покрытие обладает высокой коррозионной стойкостью при водяном теплоносителе при номинальных параметрах. Микротвэл, применительно к условиям активной зоны ВВЭР, имеет сердечник большого диаметра и относительно тонкую оболочку. Это необходимо для обеспечения топливной нагрузки, такой же, как в реакторах типа ВВЭР. Для обоснования работоспособности микротвэлов проведены расчёты напряжённо-деформированного состояния многослойной оболочки с весьма консервативным допущением (100 % выход газовых продуктов деления, образование СО). Показано, что такой МТ может сохранить работоспособность при выгорании до 10% т. а.

Малый диаметр МТ увеличивает поверхность теплообмена в активной зоне примерно в 10 раз. Отсутствие больших газовых зазоров обеспечивает низкую температуру топлива на уровне 370<sup>0</sup>С. Активная зона практически не имеет запаса тепла, что важно для протекания аварийных режимов.

Таким образом, новые технические решения состоят в следующем:

- используется спектральное регулирование (компенсации) запаса реактивности на выгорание, выгорающий поглотитель отсутствие;
- активная зона выполнена на основе МТ, непосредственно охлаждаемых легководным теплоносителем-замедлителем в тепловыделяющей сборке с поперечным течением теплоносителя;
- энергоблок комплектуется турбиной, реализующей параметры 10МПа, 340<sup>0</sup>С, что обеспечивает выработку электроэнергии с КПД = 40%;
- за счёт физико-химических свойств микротвэлов в установку существенно сокращено оборудование систем безопасности, исключены гидроёмкости высокого и среднего давления, маховики ГЦН, систем очистки герметичного объёма от газовых продуктов деления, исклю-

чена ловушка для расплавленной активной зоны, применяется одинарная защитная оболочка. [2]

**Библиографический список**

1. Шмелев В.Д., Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций. М., ИКЦ «Академкнига», 2004, 220 с.
2. Гришанин Е., Кухаркин Н. Инновация с микротвэлами // РЭА. 2009. №9. С. 30-36

*Е.В. Богдан, студ.; рук. Н.Б. Карницкий, д.т.н., проф.  
(БНТУ, г. Минск)*

**ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА  
БЕЛОРУССКОЙ АЭС**

В соответствии с государственной программой в 2018 году вводится в эксплуатацию первый блок Белорусской АЭС мощностью 1195 МВт. БелАЭС – результат эволюционного развития наиболее распространенного и технически совершенного типа станций – АЭС с ВВЭР. Ближайший аналог – Ленинградская АЭС, строящаяся по серийному проекту. В качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов в реакторе используется "легкая" (обычная) вода. Основные технико-экономические показатели проекта Белорусской АЭС приведены в табл. 1.

**Таблица 1 - Основные технико-экономические показатели**

Показатели	Планируемая величина
Срок службы энергоблока, лет	50
Установленная номинальная мощность энергоблока, МВт (эл.)	1195
Коэффициент полезного действия, % брутто нетто	37,17 34,51
Расход электроэнергии на собственные нужды, %	7,15
Коэффициент готовности	0,98
Среднегодовой отпуск электроэнергии от одного блока при работе АЭС в базовом режиме без отпуска теплоты, млн кВт·ч	8517,8



Каждый энергоблок оснащен реакторной установкой В-491 с водяным энергетическим реактором с водой под давлением, а также турбиной К-1200-6,8/50 (число оборотов 3000 об/мин) с генератором переменного тока ТЗВ-1200-2У3 электрической мощностью не менее 1195 МВт. Тепловая схема - двухконтурная. В составе энергоблока АЭС работа РУ предусматривается в базовом режиме и в режимах маневрирования. Реакторная установка включает следующее основное оборудование и системы:

- водо-водяной энергетический реактор корпусного типа номинальной тепловой мощностью 3200 МВт под давлением теплоносителя 16,2 МПа. Теплоносителем и замедлителем является вода с борной кислотой, концентрация которой изменяется в процессе эксплуатации. В качестве топлива в активной зоне реактора используется слабо обогащенный диоксид урана;

- четыре горизонтальных парогенератора типа ПГВ-1000МКП с разреженной коридорной компоновкой теплообменных труб в трубном пучке, производительность каждого  $1602 \pm 112$  т/ч сухого насыщенного пара под давлением 7,0 МПа;

- четыре главных циркуляционных насоса типа ГЦНА-1391;
- главные циркуляционные трубопроводы Ду 850;
- систему компенсации давления;
- оборудование бетонной шахты реактора;
- системы безопасности.

Второй контур – не радиоактивный, состоит из паропроизводительной части парогенераторов, главных паропроводов, одного турбоагрегата, вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, оборудования деаэрации, подогрева и подачи питательной воды в парогенераторы.

Технологическое оборудования, примененное в проекте, имеет многолетний положительный опыт эксплуатации на АЭС. Построенных по российским проектам. Обеспечение радиационной безопасности организуется и осуществляется для предотвращения недопустимого воздействия источников ионизирующего излучения на персонал, население и окружающую среду в районе размещения АЭС. При прекращении подачи электроэнергии предусмотрены системы по управлению запроектными авариями, а при аварии – системы охлаждения реакторной установки, которые могут работать в течение длительного времени в автономном режиме, отводя тепло от реактора и поддерживая его в безопасном состоянии.

В случае возникновения нештатных ситуаций системы безопасности обеспечат штатный останов и расхолаживание энергоблоков Белорусской АЭС.

**Библиографический список**

1. Дмитриев С.М., Зверев Д.Л., Бых О.А. и др. Основное оборудование АЭС. Минск: Высшая школа, 2015. 288 с.

*Е.Н. Ботько, маг. (БНТУ, г. Минск);*

*рук. В.И. Белозеров, к.т.н., доц. (ИАТЭ, г. Обнинск)*

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ С НАРУШЕНИЕМ УСЛОВИЙ  
ОХЛАЖДЕНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ СО  
СТОРОНЫ ВТОРОГО КОНТУРА РЕАКТОРА ВВЭР**

Одной из важнейших проблем атомной энергетики является обеспечение эксплуатационной безопасности действующих и проектируемых АЭС. В этой проблеме вопросы обеспечения теплогидравлической надежности активной зоны водоохлаждаемых энергетических реакторов некипящего (ВВЭР, PWR) и кипящего (РБМК, BWR) типов занимают особое место. Кроме того, история атомной энергетики свидетельствует о том, что именно недостаток знаний в области теплообмена на поверхности ТВЭЛ и гидродинамики является наиболее частой причиной возникновения и развития тяжелых аварий на АЭС.

Исследование теплофизических и теплогидравлических процессов в ядерных энергетических установках создает необходимую основу для обеспечения надежности, эксплуатационной безопасности и эффективности АЭС.

Неизбежность совершенствования и продления срока эксплуатации действующих АЭС, разработка проектов нового поколения с пассивными системами безопасности, требуют углубленного расчетного анализа штатных и переходных режимов, проектных и запроектных аварий АЭС с применением расчетных кодов (RELAP-5, TRAC и др.). Это обусловлено, в первую очередь тем, что в условиях АЭС не может быть реализован традиционный для техники путь проверки и уточнения результатов и выводов расчетов на основе промышленных испытаний.

Необходимым условием обеспечения безаварийной работы АЭС является обеспечение соответствия между количеством тепла, выделяемым в активной зоне, и отводимым в парогенераторах. Возникновение нештатной ситуации такой, как нарушение теплоотвода со стороны второго контура, ведет к повышению давления во втором контуре, уве-

личению температуры теплоносителя на входе в реактор и уменьшению минимального запаса до кризиса теплообмена в активной зоне.

Определение коэффициентов запаса при любом инженерном расчете является одной из главных задач при определении надежности конструкции. Наступление кризиса кипения для ядерного реактора считается недопустимым. Уменьшение коэффициента запаса повышает вероятность выхода ТВЭЛ из строя, и наоборот, увеличение его повышает теплотехническую надежность ТВЭЛ, но снижает выработку электроэнергии и увеличивает постоянную составляющую затрат.

Среди режимов с нарушением условий охлаждения реакторной установки со стороны второго контура были рассмотрены следующие:

- 1) отключение турбогенератора от системы;
- 2) закрытие отсечных клапанов парогенераторов;
- 3) прекращение подачи питательной воды;
- 4) отключение подогревателей питательной воды высокого давления.

Анализ режимов выполнялся на номинальной мощности реакторной установки и работе всех систем и оборудования в соответствии с проектными уставками и блокировками.

В ходе выполнения работы были проведены расчеты, исследование и моделирование режимов работы реакторной установки при нарушении условий охлаждения со стороны второго контура реактора ВВЭР. По результатам проведенного анализа установлено, что во всех рассматриваемых режимах, согласно смоделированным графикам, при возникновении каждого из исходных событий происходит срабатывание систем безопасности согласно уставкам, переходные процессы стабилизируются во времени, запас до кризиса кипения на оболочках ТВЭЛ обеспечивается. В соответствии с этим можно утверждать, что в случае внештатной ситуации, связанной с рассматриваемыми в работе режимами, безопасность реакторной установки будет обеспечена в соответствии с приемочными критериями.

#### Библиографический список

1. Белозеров В. И. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000: Монография / В. И. Белозеров, М. М. Жук, Ю. А. Кузина, М. Ю. Терновых. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2014. – 291 с.
2. Белозеров В. И. Нейтронно-физическая и теплогидравлическая модель ВВЭР-1000 для обучения персонала / В. И. Белозеров, В. В. Сергеев и др. // Известия Высших учебных заведений. Ядерная энергетика №2. – Обнинск, 2008. – 124 с.
3. Афров А. М. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, С. А. Андрушечко, В. Ф. Украинцев и др. – Москва: Университетская книга, Логос, 2006. – 488 с.

*Е.П. Чиж, студ.; рук. А.Л. Буров ст. преподаватель  
(БНТУ, г. Минск, РБ)*

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМУЛЯТОРА ВВЭР-1000**

В связи с развитием ядерной энергетики в Республике Беларусь и введением в эксплуатацию первой Белорусской АЭС, чрезвычайно важным при анализе работы реакторной установки является математическое моделирование происходящих нейтронно-физических и теплогидравлических процессов. В целях моделирования был использован компьютерный тренажер-симулятор управления реактором ВВЭР-1000. Программа-тренажер, с помощью которой в последующем будут моделироваться переходные процессы первого и второго контуров АЭС, была создана при поддержке Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ, IAEA) в сотрудничестве с Национальным исследовательским ядерным университетом Московского инженерно-физического института (НИЯУ МИФИ). Цель создания компьютерного симулятора реактора ВВЭР-1000 заключается в наглядном изучении эксплуатационных характеристик реактора и их реакции на возмущающие воздействия и аварийные ситуации в режиме реального времени, а также в отработке практических навыков управления технологическими процессами АЭС с водо-водяными реакторами ВВЭР-1000.

Используя данную программу-тренажер были проведены три эксперимента.

При проведении 1 эксперимента - работа реактора в стационарном режиме был получен практически симметричный график распределения нейтронного потока по высоте активной зоны реактора. Такая симметричность объясняется тем, что почти все регулирующие стержни находятся в крайнем верхнем положении, т.е. подняты.

Также следует заметить, что реактор находится в критическом состоянии, т.е. степень реактивности  $\rho=0$  и нейтронная мощность реактора остаётся неизменной. Анализ трехмерной модели активной зоны показал, что наибольший нагрев теплоносителя происходит в центральной части активной зоны.

Проведение эксперимента 2 - работа реактора при отключенном ГЦН №1. При анализе результатов моделирования можно наблюдать некоторые изменения. Так, группа УС №10 теперь опущена на высоту 40% от нижнего края активной зоны реактора при неизменной концентрации борного раствора, что говорит о необходимости компенсации

возросшей реактивности вследствие уменьшения теплосъёма с топливных сборок. График распределения нейтронного потока смещается вниз пропорционально опусканию регулирующих стержней. Также можем отметить нарастание таких показателей, как коэффициент неравномерности нейтронного потока по топливной сборке  $K_V$  (с 0,79 до 0,88) и осевой неравномерности ксеноновых колебаний по топливной сборке и в целом по активной зоне  $A_O$  (5,3 и 4,78%; 11,5 и 14,37%). Одновременно с этим наблюдается заметное падение тепловой мощности реактора  $N_T$  с 2736,4 МВт до 1991,8 МВт. Заметим, что реактор продолжает работать в критическом состоянии с нулевой реактивностью, а область наибольшего нагрева теплоносителя по активной зоне сместилась в сторону замедленной циркуляции.

Эксперимент 3 - работа реактора при отключённых ГЦН №1, 2, 3 очень показателен с точки зрения срабатывания аварийных защит реактора. Анализируя полученные результаты, можем убедиться в том, что цепная реакция прекращается (коэффициент реактивности принимает отрицательное значение  $-6,210$  и происходит перевод реактора в подкритическое состояние) падением всех групп регулирующих стержней. При этом наблюдается не только резкое уменьшение тепловой мощности реактора (до 25,1 МВт), но и смещение периода реактора в отрицательную сторону, что ещё раз указывает на падение мощности реактора. Показатель осевой неравномерности ксеноновых колебаний по топливной сборке и по активной зоне  $A_O$  также принял отрицательные значения ( $-2,0$  и  $-1,94$  соответственно), что говорит о подавлении цепной ядерной реакции деления, а, следовательно, процесса накопления изотопа  $^{135}\text{I}$  и его продукта распада  $^{135}\text{Xe}$ . Выгорание последнего объясняет локальное увеличение реактивности при работе реактора на мощности.

Основные параметры (давление и температура второго контура) поддерживаются постоянными даже при резком сбросе нагрузки турбины за счёт срабатывания защиты по повышению давления пара в парогенераторе БРУ-К путём сброса части пара в конденсатор. При этом срабатывания БРУ-А и предохранительных клапанов ПГ не происходит.

Следует отметить, что все эксперименты выполнялись в начальных условиях стационарного режима работы реактора при 90%-ой выработки мощности и автоматического контроля параметров (АСР).

#### Библиографический список

1. Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.в. Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 304 с.

*В.В. Легкоступова, аспирант; рук. А.В. Судаков, д.т.н., проф.  
(СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В СПП ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК**

Сепараторы-пароперегреватели (СПП) служат для сепарации влаги и промежуточного перегрева пара после цилиндра высокого давления (ЦВД) турбин насыщенного пара атомных электрических станций (АЭС) для обеспечения допустимой влажности пара в последних ступенях цилиндра низкого давления (ЦНД) этих турбин и предотвращения эрозионного износа лопаток этих ступеней и, соответственно, повышения экономичности турбины в целом.

В настоящее время на всех действующих энергоблоках с реакторами РБМК-1000 на турбинах К-500-65/3000 установлены сепараторы СПП-500-1 конструкции ЗиО. Конструкция данного СПП описана в [1]. Основные проблемы, выявленные во время эксплуатации, - это неравномерность раздачи пара по сепарационным блокам и пронос влаги через сепаратор в пароперегреватель. Причина данных проблем - расположение сепаратора над поверхностью нагрева и боковой подвод влажного пара. Последствия – усталостное разрушение труб разводки греющего пара и трубок поверхности нагрева и снижение эффективности перегрева пара. Это отрицательно сказывается на экономичности и надежности турбин.

Для решения вышеописанных проблем и улучшения работы СПП на Ленинградской и Смоленской АЭС была проведена модернизация. Проект по модернизации включает в себя замену сепарационных блоков и изменения схемы движения пара. После модернизации были проведены испытания, которые подтвердили эффективность проведенной модернизации. Подробное описание конструкции модернизированной сепарационной части, а также результаты испытаний представлены в работах [2,3].

Но не всегда есть возможность проведения испытаний на натуральных аппаратах или исследовательских установках (воздухо-водянных и пароводяных стендах). Поэтому существует необходимость проведения расчетных исследований распределения двухфазного потока во входной камере и по сепарационным блокам СПП-500-1. Цель этих расчетных исследований является возможность с достаточной точностью производить расчет движения двухфазного (влажно-парового) потока во входной камере и сепараторе СПП-500-1 и произвести варианты расчеты с целью оптимизации конструкции.

Для повышения надежности аппаратов необходимо обеспечить равномерность распределения двухфазного потока по сепарационным

блокам, что может быть выполнено расчетным или экспериментальным путем. Расчетный анализ позволяет при существенном сокращении затрат ускорить процесс проектирования и на основании вариантных расчетов оптимизировать конструкцию СПП.

Авторами разработаны геометрические модели входной камеры и сепарационной части СПП-500-1 до и после модернизации с учетом различных углов ввода потока.

Расчетные исследования проводятся методом компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS CFX. Проводятся исследования распределения воздушно-водяного потока с различными размерами капель (100, 300, 1000 микрон), влажного пара, а также образование пристенной водяной пленки во входном патрубке и на стенках входной камеры.

После проведения расчетов и обработки полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- неосевой ввод среды во входную камеру СПП увеличивает неравномерность раздачи потока по отдельным сепарационным блокам;
- возникает увеличение нагрузки на сепарационные блоки вследствие торможения потока во входной камере;
- образующаяся пристенная водяная пленка во входном патрубке увеличивает нагрузку на сепарационные блоки, расположенные под входным патрубком вследствие ее отрыва, что сильно увеличивает неравномерность потока по блокам;
- во входной камере аппарата и в каналах сепаратора происходит турбулентное течение потока, вследствие чего имеют место области с обратным движением потока среды. Это явление снижает эффективность работы сепарационных блоков.

#### Библиографический список

1. Филиппов Г.А., Поваров О.А. Сепарация влаги в турбинах АЭС. - М.: Энергия, 1980. – 320 с.: ил.
2. Готовский М.А. Результаты испытаний модернизированных сепараторов-пароперегревателей турбоустановки К-500-65/3000 энергоблока №4 Ленинградской АЭС / М.А. Готовский, Б.С. Фокин, М.Я. Беленький [и др.] // Теплоэнергетика. 2012. №2. С.27-32.
3. Егоров М.Ю. Результаты модернизации сепараторов-пароперегревателей турбоустановок на четвертом блоке Ленинградской АЭС / М.Ю. Егоров, К.В. Соколов, М.А. Блинов [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №3 (130). С.263-272.

*К.А. Мартынова, магистрант, Ю.А. Фадеева, магистрант,  
А.А. Добров, асп.; рук. к.т.н., доцент А.Е. Хробостов  
(НГТУ им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКИ ТВС РЕАКТОРА PWR С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОГРАММ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

Многие годы изучение структуры турбулентного потока и особенностей перемешивания теплоносителя в ТВС ядерных реакторов является важной и актуальной исследовательской задачей. Особую роль такие исследования играют при выборе конструкции дистанционирующих и перемешивающих решеток, т.к. установка подобных устройств в активной зоне с точки зрения теплогидравлики создает локальное возмущение потока, приводящее к отклонению направлений составляющих скорости теплоносителя, изменению их турбулентных характеристик, а также локальных процессов переноса импульса и тепла. Все эти эффекты могут в значительной мере влиять как на величину критического теплового потока, а следовательно на условия выбора мощности реакторной установки, так и на гидравлическое сопротивление ТВС.

Одним из эффективных инструментов, способных помочь конструкторам оптимизировать форму перемешивающих решеток ТВС еще до изготовления и тем самым сократить объем экспериментальных исследований, является вычислительная гидродинамика (Computational Fluid Dynamics – CFD). Поэтому в мире в большинстве организаций, связанных с разработкой конструкции ядерного топлива, огромное внимание уделяется применению CFD-программ. В последнее десятилетие, как в России, так и за рубежом проведено значительное количество расчетов, посвященных течению теплоносителя в ТВС с перемешивающими решетками. Связано это в первую очередь с бурным ростом производительности вычислительной техники и повышением уровня ее доступности.

В то же время, анализ статей, посвященных численному моделированию течения теплоносителя в ТВС, показал различный подход авторов к выбору критериев для оптимизации конструкции перемешивающих решеток.

В докладе приведены результаты моделирования течения потока теплоносителя во фрагменте тепловыделяющей сборки реактора PWR



с дистанционирующими и перемешивающими решетками. В ходе проведения расчетов было исследовано влияние на результат расчетной сетки и модели турбулентности. Получены численные характеристики критериев, характеризующих эффективность перемешивания для решеток с дефлекторами различной формы.

#### Библиографический список

1. **Варенцов А.В., Доронков Д.В., Илютина Е.М., Каратушина И.В., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е.** Особенности течения теплоносителя в твс-квадрат реактора PWR при постановке перемешивающих дистанционирующих решеток с различными типами дефлекторов. Труды НГТУ № 3, 2015, С.134-143
2. **Матюшенко А.А., Гарбарук А.В.** Расчет течения вдоль пучка цилиндров при наличии локальных завихрителей потока. Тепловые процессы в технике, 2013, № 11, С.482-486.
3. **Носков А.С., Фальков А.А., Шипов Д.Л.** Применение CFD кода для анализа эффективности смесительных дефлекторов решеток ТВС. Сборник докладов МНТК-2013 "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР", Подольск, 2013.
4. **Peña-Monferrer C., Muñoz-Cobo J. L. and Chiva S.** CFD Turbulence Study of PWR Spacer-Grids in a Rod Bundle. Science and Technology of Nuclear Installations, Volume, 2014.
5. **Ulrich Bieder, François Falk, Gauthier Fauchet** CFD analysis of the flow in the near wake of a generic PWR mixing grid. Annals of Nuclear Energy
6. **Seok-Kyu Chang, Seok Kim, Chul-Hwa Song** Turbulent mixing in a rod bundle with vaned spacer grids: OECD/NEA-KAERI CFD benchmark exercise test. Nuclear Engineering and Design № 279, 2014, С.19-36
7. **Muhammad Omair Khan, Shakir Hussain, Muhammad Rafique, Anwar Ahmad, Wa-seem Akhtar** CFD Study of Single Phase Flow in a PWR Spacer Grid. Proceedings of 2013 10th International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST) Islamabad, Pakistan, 2013, С.243-248.

*К.И. Ушева, студ.; рук. С.А. Кутень, к.ф.-м.н.  
(БГУ, г. Минск)*

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖАТЕЛЯ ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР

Для анализа безопасности ядерного реактора применяются различные детерминистические коды. В частности, для анализа стационарных и переходных процессов в активной зоне реактора широко применяется крупносеточный код DYN3D, основанный на диффузионном приближении уравнений переноса. Для модели реактора в коде DYN3D необходимо константное обеспечение (диффузионные константы и групповые сечения), подготавливаемое с помощью спектральных кодов. При постановке задачи в процессе моделирования важное место занимает описание отражателя для определения граничных условий.

Целью работы является разработка и построение модели радиального отражателя реактора ВВЭР в коде Serpent [1], а так же расчет его характеристик.

Подготовка сечений для отражателя требует поиска оптимальной конфигурации элементов конструкции при создании модели. Одной из проблем является отсутствие в отражателе делящегося материала. Для вычисления характеристик отражателя необходимо подобрать такую геометрию, которая бы описывала отражатель и содержала оптимальное количество делящегося материала. Как правило, такая геометрия состоит из ячейки отражателя, окруженной близлежащими топливными сборками.

Радиальный отражатель реактора типа ВВЭР состоит из выгородки, внутрикорпусной шахты, теплоносителя и корпуса реактора. На данную область накладывается сетка из шестиугольных ячеек, по размеру равные размеру ТВС (шаг 23,6 см).

С учетом  $60^\circ$  симметрии активной зоны и конструкционные особенности выгородки реактора ВВЭР, имеем 5 типов ячеек радиального отражателя с разным материальным составом внутри них. Рассматриваемая ячейка отражателя окружается близлежащими шестиугольными ячейками, часть из которых, является ТВС и выступают в качестве источника нейтронов. На рисунке 1 приведены два типа ячеек, которые соответствуют двум видам отражателя.

Гомогенизация сечений проводится по центральной ячейке отражателя, для которой рассчитываются характеристики в коде Serpent.

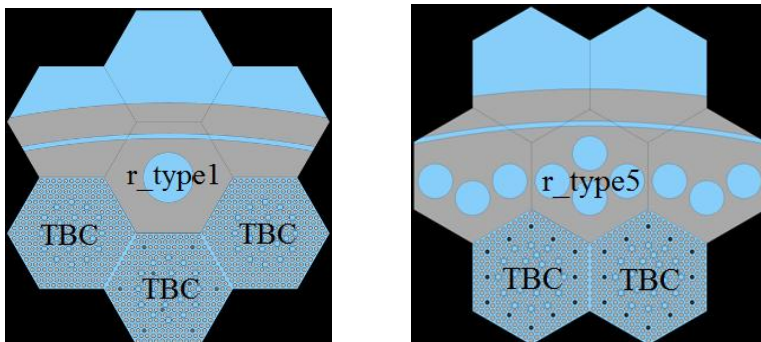


Рисунок 1. Одни из возможных моделей радиального отражателя.

Рассчитанные в двухгрупповом приближении диффузионные константы (коэффициент диффузии (для быстрых ( $D_1$ ) и тепловых ( $D_2$ ))

нейтронов), макроскопические сечения выведения ( $\Sigma_{rem1}$  – для быстрых нейтронов и  $\Sigma_{rem2}$  – для тепловых нейтронов) и макроскопическое сечение перехода из одной группы в другую ( $\Sigma_{s1-2}$ ) представлены в таблице 1 для различных типов радиального отражателя. Для простоты состав ТВС был взят из проекта ВВЭР-1000 Балаковской АЭС.

**Таблица 1. Характеристики отражателя реактора ВВЭР.**

отражатель	D <sub>1</sub> , cm	D <sub>2</sub> , cm	$\Sigma_{rem1}$ , 1/cm	$\Sigma_{rem2}$ , 1/cm	$\Sigma_{s1-2}$ , 1/cm
r_type1	0.720866	0.265945	1.05037E-02	6.06506E-02	7.14915E-03
r_type2	0.707086	0.258001	9.78677E-03	5.19945E-02	6.44295E-03
r_type3	0.716654	0.276937	1.22767E-02	6.93515E-02	8.79985E-03
r_type4	0.729633	0.270678	1.45739E-02	6.38559E-02	1.11771E-02
r_type5	0.737494	0.268221	1.58738E-02	6.20799E-02	1.25143E-02

Результаты работы могут быть использованы в программе DYN3D для моделирования стационарных и переходных процессов при анализе безопасности реактора типа ВВЭР.

#### Библиографический список

1. Leppänen J. Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. User's Manual. VTT Technical Research Centre of Finland, 2015. 164 p.

*А.В. Соболев; **Ю.В. Волков**, д.т.н., проф.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОТРАСЛЕВЫХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ БАЛАКОВСКОЙ АЭС**

Показатели надежности оборудования и персонала непосредственно формируют показатели безопасности атомных станций (АС). Соответственно, управляя надежностью АС, т.е. разумно ее улучшая, можно осуществить управление безопасностью АС. Здесь приводится

пример возможного принятия управленческих решений на АС, позволяющих обнаружить «слабые звенья» по критериям надежности.

Суть идеи заключается в сравнении показателей надежности конкретной АС со средними по отрасли [1]. На основании такого сравнения можно ориентировочно судить о состоянии технического парка и об общем уровне подготовки персонала рассматриваемой площадки. Здесь предлагается для сравнений использовать параметры распределения Вейбулла,

$$f(t) = \rho \cdot \alpha \cdot (\rho \cdot t)^{\alpha-1} \exp(-(\rho \cdot t)^\alpha)$$

где  $\alpha$  – безразмерный параметр распределения (фактор формы);  $\rho$  – параметр распределения, размерности обратной  $t$ .

Сравнение величин параметров распределения Вейбулла, характеризующих надежность атомной станции, основано на эвристическом суждении: чем больше величина параметра  $\rho$  распределения тем «хуже» надежность объекта исследования, в отношении  $\alpha$  можно сказать, что лучше бы его величина была в интервале от 0 до 1, тогда отказы связаны с «приработкой». Причем, чем ближе  $\alpha < 1$  к единице, тем лучше надежность изделия, т.к. в этом случае отказы из приработочных переходят в разряд внезапных.

Если же  $\alpha > 1$ , то отказы вызваны старением и деградацией оборудования, систем человек-машина и других комплексов составляющих объект исследования.

Для демонстрации возможности использования отраслевых сведений о надежности при принятии управленческих решений был выполнен анализ опыта эксплуатации Балаковской АЭС.

Расчет оценок параметров  $\alpha$  и  $\rho$  распределения Вейбулла для происшествий на Балаковской АЭС выполнен методом, основанным на принципе метода моментов, изложенном в работе [1], и названным там «прямым методом». Сравнение оценок, полученных для Балаковской АЭС, с соответствующими оценками параметров по отрасли [1], дает возможность судить о состоянии оборудования и персонала этой АС, относительно отрасли в целом.

Так, из сравнения отраслевых показателей с результатами, полученными для Балаковской АЭС, видно, что отраслевое значение фактора формы распределения Вейбулла отличается от соответствующего параметра Балаковской АЭС для происшествий, причинами которых были как ошибки персонала так и отказы оборудования ( $\alpha_{\text{Бал}}=0,66 > \alpha_{\text{рФ}}=0,552$ ). Кроме этого, среднее значение оценки  $\alpha_{\text{Бал}}$  больше, правой границы интервала значений  $\alpha_{\text{рФ}}$ . Сравнение оценок параметра  $\rho$  показывает, что по этому параметру Балаковская АЭС также более благополучна, чем отрасль в целом. Это говорит о том,

что вероятность неплановых остановов Балаковской АЭС ниже, чем средняя по Российским АС.

Выделить доминирующие причины происшествий на Балаковской АЭС, можно с помощью сравнительного анализа оценок параметров распределения Вейбулла. Сравнение фактора формы распределения Вейбулла для происшествий реализовавшихся из-за ошибок персонала на рассматриваемой площадке показывает, что его величина больше чем отраслевое значение ( $\alpha_{\text{Бал}}=0,76 > \alpha_{\text{РФ}}=0,709$ ), и лежит внутри интервала значений  $\alpha_{\text{РФ}}[0,603; 0,881]$ . Кроме того, оценки среднего значения параметра  $\rho$  меньше, чем в среднем по отрасли. Это свидетельствует о более высокой в среднем надежности персонала в сравнении с отраслью.

Аналогично можно соотнести происшествия из-за технических отказов оборудования. В результате получим, что технический парк рассматриваемой атомной станции находится в более благополучном состоянии, чем в целом по отрасли.

#### Библиографический список

1. Волков Ю.В. Разработка методов и оценка показателей надежности персонала по статистике инцидентов на АЭС РФ / Ю.В. Волков, Д.С. Самохин, А.В. Соболев, А.Н. Шкаровский // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 4. – С. 15-24.

*Ю.Г. Клемешова, студ; рук. А.В. Дунцев, к.т.н, доц.  
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНТУРА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Обеспечение безопасности АС остается главной проблемой использования этого источника энергии в будущем. Обеспечение безопасности является не только проблемой предотвращения нанесения ущерба населению, к ней относятся такие важные смежные вопросы, как предотвращение экономического и экологического ущербов, простота сооружения и обслуживания систем, экономичность АС в целом.

Необходимо развитие таких концепций реакторной установки, которые позволяли бы достичь необходимых уровней безопасности.

Реактор повышенной безопасности должен удовлетворять требованиям, предполагающим, что, при выходе из строя активных систем безопасности, выделяющееся в активной зоне тепло будет безопасно рассеиваться посредством, например, естественной конвекции или теплового излучения. Необходимо найти такие решения, которые по-

зволили бы благодаря пассивным остановке и охлаждению активной зоны предотвратить перегрев и разрушение, не используя при этом системы принудительного расхолаживания, и исключить какие-либо действия оператора. Такой подход обеспечил бы существенно более высокий уровень безопасности.

В атомной энергетике самое широкое применение находят установки и теплообменные аппараты, в которых движение теплоносителя осуществляется за счет естественной циркуляции. Системы с естественной циркуляцией широко применяются в схемах аварийного охлаждения активной зоны реакторов АЭС, в коллекторах солнечных батарей, в установках по опреснению морской воды, а также в системах охлаждения и термостабилизации теплогенерирующего электронного оборудования [1].

Простота конструкции, отсутствие нагнетательных устройств (насосов), надежность и простота в эксплуатации - вот основные качества систем с естественной циркуляцией, привлекающие разработчиков новых устройств к использованию их в современных проектах [2].

В замкнутом контуре, на некоторой, части которого генерируется пар, плотность среды в подъемных и опускных линиях различна и вследствие действия сил гравитации возникает естественная циркуляция (ЕЦ). Контур работает надежно, если обеспечиваются достаточно хорошие условия теплопередачи во всех обогреваемых его участках [3]. Так как интенсивность теплообмена зависит от гидродинамики потока, следовательно, основной целью расчета будет являться определение режима движения жидкости, пара и парожидкостной смеси в контуре естественной циркуляции, а также диапазона режимов, в которых циркуляция достаточно надежна (устойчива и обеспечивает необходимый теплосъем).

Как показывает опыт, в циркуляционном контуре возможно возникновение явлений, нарушающих работу контура естественной циркуляции и приводящих к ее срыву. Такие явления могут возникать как в подъемных, так и в опускных трубах [4].

К явлениям, приводящим к срыву ЕЦ в подъемных трубах, относят;

- застой циркуляции;
- опрокидывание циркуляции;
- расслоение пароводяной смеси;
- нарушение режимов предельной кратности циркуляции.

К явлениям, приводящим к срыву ЕЦ в опускных трубах, относят;

- парообразование в обогреваемых опускных трубах;
- кавитация в опускных трубах;
- захват пара в опускные трубы;

- падение давления пара в котле (вскипание воды в опускных трубах).

Указанные явления достаточно сложно исследовать и теоретически и экспериментально. В рамках выполняемой нами работы предполагается исследование причин срыва естественной циркуляции в контуре, т.е. оценка надежности контура естественной циркуляции.

Для этого необходимо построение математической модели, исследование явлений, нарушающих работу контура естественной циркуляции и приводящих к ее срыву, определение границ устойчивости, получение большой базы данных для разработки расчетных кодов и их оценки и верификации.

#### Библиографический список

1. **В.А. Кузнецов.** Судовые энергетические установки. Л: Судостроение, 1989. 256с.
2. **А.М. Кутепов.** Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. М: Высшая школа, 1986. 448с.
3. **И.К. Лебедев.** Гидродинамика паровых котлов. М: Энергоатомиздат, 1987. 237 с.
4. **В.А. Локшин.** Гидравлический расчет котельных агрегатов. М: Энергия, 1978. 256с.

*Д.Р. Сазонов, студ.; рук. Ю.И. Аношкин, к.т.н  
(НГТУ, г. Н.Новгород)*

## СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА

Применение малых реакторов малой мощности (100-180 МВт тепловых), более 30 лет используемых в судовых атомных энергетических установках, для энергообеспечения труднодоступных отдалённых районах России долгое время оставалось вне поля зрения специалистов и общественности [1]. Приоритеты в области энергетики в прошлом принадлежали развитию единой энергосистемы на основе создания крупных энергогенерирующих объектов (1500 МВт тепловых) и строительства гигантских энергокомплексов.

Специфические требования по использованию ядерной энергии на подводных лодках и судах гражданского флота сформировали особый облик силовой реакторной установки транспортного назначения, главными отличительными чертами которой стали:

- предельная компактность;
- повышенная надежность;
- безопасность эксплуатации.

Последнее свойство особенно важно, поскольку в корабельных условиях люди месяцами живут и работают в непосредственной близости от ядерных реакторов. Проведенные госкорпорацией «Росатом» в последнее время совместно с предприятиями судостроительной промышленности проектные проработки показали возможность создания на основе освоенных судовых реакторов, с привлечением некоторых усовершенствованных решений по обеспечению повышенной безопасности, нового класса атомных энергоисточников – наземных и плавающих энергоблоков – в широком диапазоне мощностей (от 3,5 – 310 МВт эл.). Область использования таких энергоисточников – производство электричества, промышленного и бытового тепла в изолированных и труднодоступных регионах, испытывающих трудности с доставкой топлива.

Традиционно сложилось, что отвод тепла от энергетической установки транспортного назначения осуществляется в воду. Однако использовать воду в качестве конечного поглотителя тепла не всегда возможно. Чтобы снять ограничения по району базирования и повысить рентабельность АЭС, необходимо транспортные установки адаптировать под использование вневодных ресурсов. Т.е. нужны альтернативные способы отвода тепла от ЯЭУ.

К данным альтернативам конечного поглотителя тепла можно отнести: воздух, излучение, земля.

Отвод излучением в окружающую среду – эта технология пришла к нам из космической отрасли. По виду используемой энергии космические двигатели подразделяются на четыре типа:

- термохимические;
- ядерные;
- электрические;
- солнечно-парусные.

Отвод теплопроводностью к земле – эта технология в последнее время интенсивно развивается. Так как она позволяет не только отводить тепло, но и получать его из недр Земли, где температура остается постоянной в течение всего года.

Отвод тепла с помощью аппаратов воздушного охлаждения к окружающему воздуху – это метод отвода тепла наиболее реалистичен в сфере коммерческого использования, к тому же имеется огромный опыт использования теплообменников воздушного охлаждения (ТВО) в нефтехимической промышленности.

В воздухоохладителях применяют пучки, составленные из гладких или оребренных труб. Оребрение обеспечивает интенсификацию теплопередачи и способствует компактности аппарата. При выборе мате-



риалов и размеров трубчатых поверхностей наряду с эффективностью теплопередачи существенную роль играют условия эксплуатации воздухоохладителей, стоимость и технологичность изготовления [2].

Геометрические характеристики оребрения и свойства материалов подбираются таким образом, чтобы удовлетворить следующим основным требованиям: высокой эффективности теплопередачи и эксплуатационной надежности при минимальных массогабаритных характеристиках, связанных с затратой дорогостоящих и дефицитных цветных металлов.

#### Библиографический список

1. Бекман И. Н. Ядерная индустрия. Курс лекций. Лекция 15. Атомные электростанции. - <http://profbeckman.narod.ru/NI.htm>
2. Гавра Г. Г., Михайлов П. М., Рис В. В. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов компрессорных установок. Учебное пособие. – Л., ЛПИ, 1982, 72 с.

*А.М. Теплов, студ.; рук. В.К. Семенов д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПОТЕРИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ В РЕАКТОРАХ ВВЭР

Потеря управления с последующим разгоном реактора приводит к инцидентам с самыми тяжелыми последствиями. Самопроизвольный разгон критичного реактора ВВЭР исключается внутренней самозащищенностью реактора – отрицательными температурным и мощностным эффектами.

Потенциально опасным режимом на ВВЭР, в части возможной кратковременной потери управления мощностью, является аварийный режим с быстрым глубоким расхолаживанием 1 контура, например, в результате разрыва паропровода в неотключаемой от парогенератора части.

В случае возникновения такого режима на ВВЭР-1000 в конце кампании, когда температурный коэффициент реактивности имеет максимальную абсолютную величину, при расхолаживании 1 контура до ~220°С освобождается ~5,5% реактивности, что приблизительно эквивалентно эффективности АЗ с отказом одного ОР. Таким образом, при данной температуре в этом технологическом режиме возможен повторный выход в критическое состояние.

При проектной работе систем безопасности нормативный предел повреждения ТВЭЛ при повторной критичности не нарушается. Реак-

тор переводится в подкритическое состояние вводом борной кислоты в первый контур. Тем не менее, в случае дополнительных отказов оборудования, режим опасен переходом в запроектный.

До настоящего времени на ВВЭР-1000 имели место не более 4-5 случаев глубокого, до  $\sim 220^\circ\text{C}$ , относительного быстрого расхолаживания первого контура. Все они связаны с не закрытием предохранительных устройств от превышения давления во 2-ом контуре, которые срабатывали при сбросе нагрузки турбогенератора. Во всех указанных случаях отказов ОР при срабатывании АЗ не было, а режим расхолаживания длился десятки минут – времени достаточно для увеличения подкритики введением борной кислоты.

Моя работа посвящена моделированию данного аварийного режима. Моделирование осуществляется в программной среде Mathcad. Модель базируется на уравнениях кинетики ядерного реактора с обратными температурными связями по топливу и теплоносителю с учетом 6-ти групп запаздывающих нейтронов.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho - \alpha_{iU} \cdot T_u - \alpha_{iB} \cdot T_B - \sum_{i=1}^6 \beta_i}{\tau} \cdot N + \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot N_{B,i}$$

По анализируемой модели было исследовано явление самозапуска реактора, условия его возникновения, а также динамика изменения следующих параметров в этом режиме: тепловая и нейтронная мощность реактора, реактивность, температура топлива в активной зоне и температура теплоносителя.

К достоинствам данной модели можно отнести простоту, наглядность, возможность использовать в образовательном процессе для описания и анализа физических процессов, протекающих в реакторе в данном режиме.

#### Библиографический список

1. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. И.: 2009.

*А.В. Балалаев, Д. Э. Прокофьев, студ.; рук. В.А. Горбунов к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИЗУЧЕНИЕ СЕПАРАЦИИ ПАРА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ПГВ-1000М В ПАКЕТЕ ANSYS**

Объектом анализа является парогенератор ПГВ-1000М.

Целью работы является разработка моделей и сравнение различных типов сепарационных устройств парогенераторов АЭС.

В ходе проделанной работы проверяется эффективность пароприемного дырчатого листа (ПпДЛ).

В ходе выполнения работы используются следующие средства ЭВМ: MicrosoftOffice 2010, ANSYS.

Парогенератор ПГВ-1000М предназначен для выработки насыщенного пара давлением 6,4 МПа с влажностью 0,2 % при температуре питательной воды 220°С в составе энергоблока АЭС с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР-1000 и является составной частью циркуляционного контура. Парогенераторы ПГВ-1000 и ПГВ-1000М изготавливались на двух заводах: ЗиО-Подольск (завод им. Орджоникидзе, г. Подольск) и ПО «Атоммаш» (г. Волгодонск).

С завода «ЗиО - Подольск» были получены оригинальные чертежи, по которым построена САД-модель парового пространства рассматриваемого парогенератора.

Так как пакет ANSYS очень требователен к ресурсам компьютера во время построения расчетной сетки и проведения расчетов, а именно к объему оперативной памяти и количеству ядер ЦП, поэтому паровое пространство ПГВ-1000М разбивается на части и рассматривается только одна из них. Считаем, что перетоки жидкости по длине ПГ отсутствуют (или имеют незначительные значения).

Для построения модели парогенератора ПГВ-1000М используется САД-пакет.

Процесс работы с геометрической моделью построен на использовании объектно-ориентированных средств управления.

На промежуточном этапе имеем следующую модель (рис.1).

Так как в ANSYS при постановке задачи теплообмен со стенками корпуса парогенератора не рассматривается, а рассматривается только движение пара по паровому пространству, для этого извлекаются все пустоты и делаются твердотельным объектом, после чего получается твердотельная модель парового пространства, которую в дальнейшем можно использовать для моделирования гидрогазодинамики парового пространства ПГ.

В итоге планируется верифицировать полученную модель процессов гидрогазодинамики в паровом пространстве парогенератора с экспериментальными данными, полученными на Калининской АЭС.

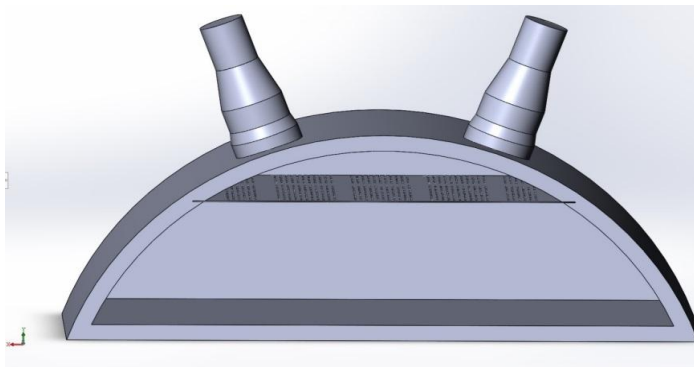


Рис.1 Внутреннее пространство моделируемой области

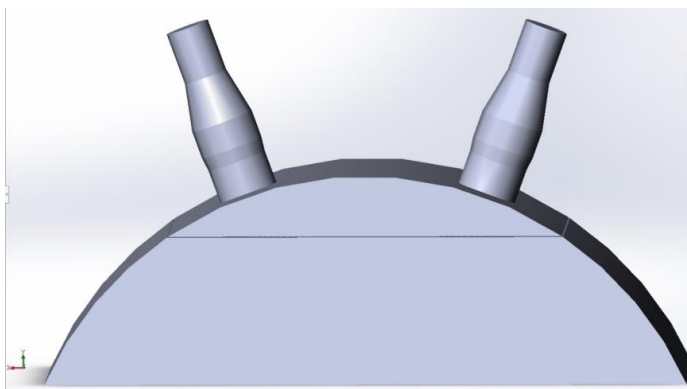


Рис.2 Твёрдотельная модель фрагмента парогенератора

#### Библиографический список

1. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учебник / С.М. Дмитриев [и др.] – М.: Машиностроение, 2013. – 415с.; ил.
2. Чертеж ПГВ-1000М («ЗиО – Подольск»);
3. Основы 3-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. – СПб.: Питер, 2013 – 304 с.: ил.

*Л.В. Лепилов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДИСТИЛЛЯТА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы дистиллята энергоблока ВВЭР-1000.

Система дистиллята энергоблока ВВЭР-1000 (ТН) предназначена для создания необходимого запаса дистиллята (не менее 500 м<sup>3</sup>) в баках ТВ40В01,02 и подачи его насосами ТН21,22,23Д01 потребителям реакторного отделения (РО).

Дистиллят подается следующим потребителям РО: в первый контур через ДП ТК10В01 для компенсации медленных изменений реактивности из-за выгорания и шлакования топлива; в первый контур через ДБР ЗТК70В01 для компенсации изменений реактивности при изменениях мощности; в первый контур через ДБР ТК70В01 при проведении разомкнутого водообмена первого контура во время вывода РУ на МКУ; на заполнение системы промконтура (TF); на заполнение баков ЗТQ11,21,31В01; на заполнение ББ ЗУР20В01; на заполнение системы отмывки концевых ступеней уплотнений ГЦН; на отмывку отложений бора с концевых ступеней уплотнений ГЦН, при неработоспособности системы ЗТН; на заполнение баков-гидрозатворов ЗТС21,22,23В01 и бака-гидрозатвора ЗТС10В03; на заполнение бака контактной жидкости; на отмывку отложений бора с уплотнений насосов ЗТQ11,21,31Д01 и ЗТQ12,22,32Д01, ЗТQ13,23,33Д01, ЗТК21,22,23Д02; на отмывку отложений бора с запоршневой зоны насосов ЗUE20Д01, ЗUD20Д01, ЗUE10Д01, ЗТQ14,24,34Д01; на уплотнения насоса ЗTZ00Д01,02; на охлаждение статора насоса ЗТВ30Д03; на продувку датчиков КИП; на систему обнаружения дефектной сборки.

Система дистиллята функционирует во всех режимах нормальной

эксплуатации блока, включая пуски и остановки, переходные режимы, а также при авариях, не связанных с разуплотнением первого контура или потерей электропитания собственных нужд.

Принцип работы системы дистиллята следующий: с напора работающего насоса 3ТН21(22,23)D01 дистиллят поступает в общий напорный коллектор, из которого он раздается на потребители РО. В работе постоянно находится один из трех насосов дистиллята. На часть потребителей дистиллят, при необходимости, может подаваться непрерывно (например, на отмывку уплотнений ГЦН), на часть - по мере необходимости.

При разработке КОС по системе дистиллята предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и умений», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы ТН, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему ТН и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### **Библиографический список**

1. Инструкция по эксплуатации системы дистиллята 03.ТН.ПЭ. 0015.42. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы дистиллята. 03.ТН.ЭС.0017.42. – Калининская АЭС.

*О.Ю. Волкова, студ.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЛИНИНСКОЙ АЭС ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИ ПОЛНОМ ОБЕСТОЧИВАНИИ**

Российская атомная отрасль является одной из передовых в мире по уровню научно-технических разработок в области проектирования реакторов, ядерного топлива, опыту эксплуатации атомных станций, квалификации персонала АЭС. Первоочередной задачей отрасли является обеспечение безопасности. Катастрофы на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима» показывают нам ущерб, который может нанести авария на АЭС.

Целью моей работы является нахождение альтернативных источников энергии для выработки электроэнергии при полном обесточивании системы, чтобы предотвратить последствия техногенной аварии.

Калининская атомная электростанция (КАЭС) — атомная электростанция, расположена на севере Тверской области в 120 км от города Тверь. Площадка АЭС находится на южном берегу озера Удомля и около одноимённого города. В составе Калининской атомной станции четыре энергоблока с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР-1000) установленной мощностью 1000 МВт каждый. Установленная мощность станции 4000 МВт[1].

Санитарно-защитная зона Калининской АЭС установлена радиусом в 1,2 км, отсчитываемым от геометрического центра вентиляционных труб энергоблоков №1,2,3,4. Зона наблюдения составляет круг вокруг КАЭС радиусом 11 км.

При различных авариях с обесточиванием необходимо оптимизировать работу главного циркуляционного насоса (ГЦН). Система ГЦН несет функцию, как система, обеспечивающая циркуляцию теплоносителя, что позволяет осуществлять плавный выход на режим естественной циркуляции. Работа АЭС менее чем с тремя ГЦН не допускается. Потребляемая мощность ГЦН-195 равна 5,3 МВт. Следовательно, необходимая для обеспечения нормальной работы 4 ГЦН, мощность равна 21,2 МВт.

Существуют два основных типа ветротурбин: с вертикальной осью вращения и с горизонтальной осью вращения. Так как на КАЭС среднегодовая скорость ветра равна 3,76 м/с, делаем вывод, что ветрогенератор с горизонтальной осью вращения не подходит. Для стартового вращения вертикального ветрогенератора достаточно самого тихого

ветра скоростью 1-1,5 м/с. При диаметре ветрогенератора равном 6 м, мощность будет равна 3,68 кВт.

Свободная территория, на которой нет жилых построек составляет около 15 км. На этих участках необходимо разместить 2500 ветрогенераторов, которые смогут обеспечивать мощность около 9,2 МВт. Что составит 43,6% от суммарной мощности аварийного электроснабжения станции.

Был произведен расчет соотношения солнечных дней в году на территории КАЭС.

**Таблица 1. Соотношение солнечных дней в году на территории КАЭС**

Погодные условия	Соотношение дней
Солнечно	26%
Пасмурно	50,7%
Облачно	23,3%

Так как количество солнечных дней в сравнении с пасмурными и облачными мало, то делаем вывод, что СЭС будет нерентабельна. К тому же стандартными условиями для функционирования солнечных батарей во всем мире признается солнечный спектр на широте 45 °. А координаты КАЭС: 57°54'18" с. ш., 35°03'41" в. д.

Из западной части озера Удомля вытекает река Съежа (длина — 104 км, площадь бассейна — 1240 км<sup>2</sup>). Она самая крупная из рек, берущих начало или впадающих, в озеро Удомля. Именно на ней целесообразно установить малую ГЭС мощностью 12 МВт. Для этого на реке необходимо построить плотину. ГЭС, таким образом, может обеспечить 56,4% мощности аварийного электроснабжения.

Для обеспечения КАЭС энергией необходимо применять ветровую энергию и энергию ГЭС, солнечная энергия в данной местности не даст необходимого результата.

#### Библиографический список

1. <http://www.knpp.rosenergoatom.ru/>



*С.Е. Егоров, Н.В. Левцанова, Н.М. Попов, студ.;  
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПЕРЕГРЕВ ПАРА НА АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОВЫХ КОМПРЕССОРОВ**

Термодинамическая эффективность атомных электростанций, использующих насыщенный или слабо перегретый пар, составляет 33-34% для АЭС с РУ В-320 (серийные блоки ВВЭР-1000), 35% для строящихся по проекту АЭС-2006 и 37,9% по проекту ВВЭР-ТОИ. На данных станциях водо-водяной энергетический реактор с водой под давлением обеспечивает теплоту парообразования для генерации пара. Их низкая термодинамическая эффективность является одной из главных причин высокой стоимости строительства таких станций, а также теплового загрязнения, вызванного атомными электростанциями.

Основной задачей настоящей работы является повышение термодинамической эффективности атомных электростанций, использующих влажный пар в качестве рабочего тела.

Было установлено, что термический КПД электростанции, работающей на насыщенном или слабо перегретом пару, может быть повышен путём сжатия части вырабатываемого в парогенераторе пара и последующим использованием его для начального или промежуточно перегрева пара, используемого в качестве рабочего тела[1].

При этих условиях обеспечивается повышение температуры перегреваемого пара до уровня, определяемым величиной давления сжатого пара за компрессором. При давлении за компрессоров 10 – 12 МПа температура рабочего пара может быть повышена до 300 – 310 °С, а при давлении за компрессоров 20 МПа, температура может быть повышена до 380 - 400 °С. Модернизация, в одном из своих аспектов, обеспечивает улучшение способа организации работы атомной или тепловой электростанции, в которой пар при определенном давлении генерируется в зоне парообразования, и полученный пар по мере расширения в турбине производит механическую работу. В соответствии с данной разработкой, первый поток пара отводится из зоны парогенератора, адиабатически сжимается до давления выше исходного для повышения его температуры, и тепловая энергия передается от сжатого первого потока ко второму потоку генерируемого пара перед расширением его в турбине.

В данной работе были рассмотрены и рассчитаны различные варианты включения паровых подогревателей в тепловую схему АЭС с ВВЭР-440 и АЭС с ВВЭР-ТОИ без учёта работы регенеративных по-

догревателей, в результате чего был выявлен явный выигрыш, позволяющий за счёт перегрева пара снизить потери от влажности в ступенях паровых турбин, а также повысить внутренний КПД.

Основные параметры ПТУ для блока с турбиной К-1000-60/3000: в базовой схеме разделительное давление  $p_p = 0,574$  МПа, мощность нетто  $N = 986,029$  МВт, КПД нетто ПТУ  $\eta = 31,654\%$ , с паровым компрессором  $p_p = 1,8$  МПа,  $N = 1027,503$  МВт,  $\eta = 34,253\%$ . Для турбины К-220-44/3000: в базовой схеме  $p_p = 0,2972$  МПа,  $N = 224,845$  МВт,  $\eta = 32,135\%$ , с паровым компрессором  $p_p = 0,2972$  МПа,  $N = 235,5$  МВт,  $\eta = 33,59\%$ . При расчётах не была учтена теплофикация и регенерация.

Проведённый анализ показал, что введение парового компрессора окажет большой эффект на АЭС с блоками большой мощности.

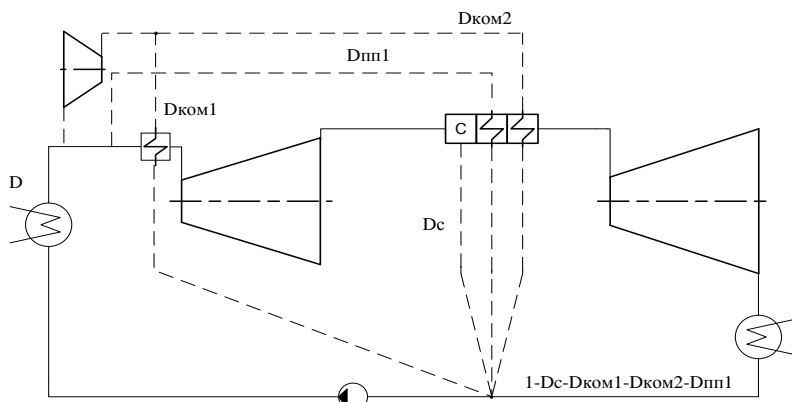


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема.

### Библиографический список

1. U.S. Patent 3,992,884, Pasault P.H., Nov. 23, 1976.
2. Методические указания «Расчёт тепловых схем АЭС с турбоустановками, работающими на насыщенном паре», Ильченко А.Г., Иваново.
3. Ривкин С.Л., Александров А.А. «Термодинамические свойства воды и водяного пара», М., «Высшая школа», 1985 г.

*М.В. Катаев, студ.; рук. В.А. Горбунов д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОНКУРЕНТНОСПОСОБНОСТЬ АЭС С ТЭС НА БУРОМ УГЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОИМОСТИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

В данной работе производится расчет стоимости углеводородного сырья, в тот момент времени, в котором цена на электроэнергию АЭС будет равна цене на электроэнергию ТЭС на буром угле с целью определения, при какой стоимости нефти электроэнергия АЭС станет выгоднее электроэнергии ТЭС на буром угле.

На первом этапе рассматриваются станции с номинальной мощностью в 1000 МВт, экономические показатели представлены в табл. 1.

**Таблица 1 - Экономические показатели АЭС и ТЭС на буром угле [1]**

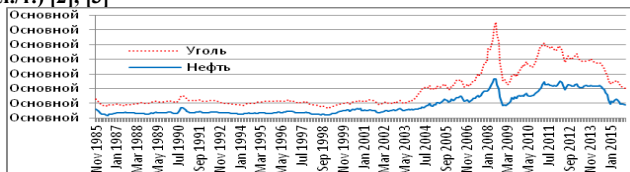
Наименование параметра	АЭС	ТЭС	Значение
Мощность станции $N$	1000	1000	МВт
КПД	33	42	%
Число часов использования установленной мощности	7680	7680	ч/год
Фактическая вырабатываемая электроэнергия	7680000000	7680000000	кВт·ч/год
Стоимость топлива	12175 (179,049дол.)	1800 (Стоимость Канско-Ачинского угля)*	Руб./кг(АЭС) Руб./т (ТЭС)
Расход топлива	40480	4896783	Кг. (АЭС) Т. (ТЭС)
Затраты на топливо в год	492,84	8896,88	Млн. руб.
Себестоимость электроэнергии	2,72	0,95	Руб./кВт*ч

*\*берется такой уголь, так как калорийный эквивалент находится в пределах средних значений по мировым запасам угля, то есть теплота сгорания данного топлива равна среднему значению теплоты сгорания мировых запасов угля.*

На втором этапе анализируется динамика цен на нефть "Brent" (дол./барр.) и средней мировой цены угля (долл./т.) в период от 11.1985 до 11.2015. Данные представлены на графике 1. Из графика видно, что цены до первой половины 2011 стабильно поднимались (не учитывая кризис 2008 года), но, после активной добычи сланцевой нефти и открытия источников на северном полюсе, цены пошли вниз. Из условия, что углеводородные запасы ограничены, будем считать, что в будущем цены будут подниматься.

На третьем этапе рассчитывается стоимость нефти на момент, когда электроэнергия на ТЭС будет равна электроэнергии на АЭС.

**График 1 – Динамика цены на нефть "Brent" (долл./барр.) и средней мировой цены угля(долл./т.) [2], [3]**



Для этого рассчитывается цена топлива на ТЭС к моменту, когда себестоимость электроэнергии на ТЭС будет равна себестоимости на АЭС. Коэффициент отношения стоимости будет равен 2,86. Тогда стоимость угольного топлива увеличится на этот коэффициент и составит 5148 руб./т или 75,71 дол./т.

Зная, что зависимость средней мировой цены угля от мировой цены на нефть является прямой, найдем зависимость стоимости нефти марки "Brent" к стоимости Канско-Ачинского угля (предварительно стоимость угля в рублях переведем на стоимость в долларах по курсу 7.12.2015: 1 долл. = 68 руб.). Зависимость равна 1,54. Находится стоимость нефти на момент равенства себестоимости электроэнергии на ТЭС к себестоимости электроэнергии на АЭС. Она равна 116,5 долл./BVL. или 7921,78 руб./ BVL.

Вывод: При выполнении работы, было выявлено, что себестоимость электроэнергии с ТЭС на буром угле сравнится с себестоимостью электроэнергии с АЭС при ценах на нефть равных 116,5 долл./BVL. Значит электроэнергия АЭС станет выгоднее электроэнергии ТЭС при ценах больше чем 116,5 долл./BVL.

#### Библиографический список

1. Денисов С.М. Анализ целесообразности внедрения электроядерной установки на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 для трансмутации минорных актиноидов, накапливающихся в отработанном ядерном топливе/ С. М. Денисов, Д. С. Зеленин// Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции, 9 – 13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т. Т 2. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2015. –С. 313-316
2. Статистические данные по австралийскому углю [Электронный ресурс]// indexmundi [сайт] URL:<http://indexmundi.com/commodities/?commodity=coal-australian&months=360> (дата обращения 7.12.2015).
3. Статистические данные по нефти марки "Brent" [Электронный ресурс]// indexmundi [сайт] URL:<http://indexmundi.com/commodities/?commodity=crude-oil-brent&months=360> (дата обращения 7.12.2015).

*А.В. Кирдяшкіна, студ.; Г.В. Булавікін, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы деаэрационной установки питательной воды энергоблока ВВЭР-1000.

КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений». КУП разработан на основании первоисточников [1,2] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний.

В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы RL, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

Деаэрационная установка предназначена для: удаления коррозионно-активных газов из поступающих в деаэрационную установку различных потоков воды (конденсат, дренажи, добавочная вода); создания запаса питательной воды в баках-аккумуляторах деаэраторов, достаточного для подпитки ПГ питательной водой в течении 3-4 минут при прекращении подачи воды в деаэраторы; подачи питательной воды из деаэраторов в ПГ (через ПВД или помимо них).

Критерием выполнения возложенных на деаэрационную установку функций является обеспечение деаэрированной водой в количестве  $4 \times 1470$  т/ч, соответствующем паропроизводительности парогенераторов и величине продувки из парогенератора. Производство необходимого количества рабочего пара требует осуществления подачи нужного количества

питательной воды. Обеспечение подачи необходимого количества питательной воды в четыре парогенератора, при различных режимах работы реакторной установки, определило построение и выбор оборудования деаэрационной установки с соответствующими характеристиками: двух термических деаэраторов повышенного давления; системы трубопроводов питательной воды и пара с регулирующей и запорной арматурой.

В состав деаэрационной установки входят:

- два деаэрационных бака типа БДП-185-2-А;
- четыре вертикальных колонки типа ДП-1600-А по две на каждый деаэрационный бак;
- двенадцать импульсно-предохранительных устройств коллектора греющего пара деаэраторов;
- насос аварийной подпитки деаэраторов;
- КИП, средства контроля, автоматики, сигнализации, защит и дистанционного управления;
- трубопроводы, служащие технологическими связями и арматура, предназначенная для выполнения необходимых переключений.

Связь деаэрационной установки с другими технологическими системами:

- система основного конденсата (**RM**);
- система химобессоленной воды машзала (**UA**);
- система питательной воды (**RL**);
- система регенерации высокого давления (**RN**);
- система подачи пара на уплотнения турбины (**SG**);
- система промпрегрева пара (СПП) (**RB**);
- система организованного сбора дренажей II контура (**RT**);
- система расхолаживания РУ через ТК (**RR**);
- система очищенной продувки ПГ (**RY**);
- система конденсата СВО (**RV**).

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему RL и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Материалы УТП Калининской АЭС «Деаэрационная установка Д7 ата» КЛ.16.ПО.01.03:CO.R.RL.OB.IIX.OB.--1
2. Эксплуатационные инструкции и схемы соответствующих систем энергоблока №3 Калининской АЭС.

*А. Е. Кириллов, студ.: рук. В. А. Горбунов, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ**

Для снижения капитальных затрат на обслуживание АЭС целесообразно добиться наибольшей производительности оборудования. Целью работы являлось повышение эффективности работы турбопитательных насосов. Проведенными исследованиями были выявлены различные пути реализации поставленной задачи.

Для высокоэффективной работы турбопитательной установки необходимо рассмотреть в качестве привода предвключенную турбину, после которой весь поток пара направляется в главную турбину блока. Использование такой турбины, включенной по схеме надстройки, позволяет повысить внутренний абсолютный КПД цикла для блока 1200 МВт на 1,7 и на 1,5 % для блока 500 МВт. Создание предвключенной приводной турбины не представляет больших технических трудностей.

Вторым вариантом повышения эффективности является использование установки с приводом питательного насоса непосредственно от вала главного генератора. Эта технология используется в зарубежной энергетике, где привод турбопитательного насоса осуществляется от вала через повышающий редуктор и гидромфту. Последняя, служит для регулирования производительности питательного насоса при частичных нагрузках блока и для остановки насоса в аварийных условиях. Преимущества такого привода питательного насоса заключаются в снижении капитальных затрат на оборудование агрегата и в уменьшении занимаемой площади по сравнению с отдельным агрегатом.

Механический КПД турбопитательной установки определяется механическими потерями на трение в подшипниках, в уплотнениях вала и на трение наружной поверхности рабочих колес о жидкость. Целесообразно сделать модернизацию питательных насосов в части подшипниковых узлов. Рассмотрев различные варианты подшипниковых опор, специалисты остановили свой выбор на графитовых подшипниках. Одной из главных особенностей графитовых подшипников является способность работать без вспомогательной системы охлаждения, что уменьшает вероятность отказа насосного агрегата. Так же, использование этих подшипников внутри корпуса насоса, позволяет вместо двух сальниковых уплотнений вала использовать одно торцевое, что заметно уменьшит протечки воды.

**Библиографический список**

1. **Повышение** эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып.6/Под ред. В. А. Шуина, М. Ш. Мисриханова, А. В. Мошкарина. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 560с.
2. **В.А. Васильев**, Определение КПД турбопитательной насосной установки термодинамическим способом/ Вестник ЮУрГУ, №1. – 2005.
3. **В.С. Лавренов**. Модернизация аварийных питательных насосов Ленинградской АЭС/ Сборник тезисов докладов X Международной молодежной научной конференции. – 2007.

*П.В. Коркодинов, Д.В. Чигирева, студ.;*  
*рук. Н.А. Лоншаков, асс., В.А. Горбунов д.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД  
ТУРБОПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА ОТ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА  
ОСНОВЕ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В настоящее время применение современных средств компьютерного моделирования при решении задач, связанных с исследованием функционирования оборудования, исключительно актуально. В данной работе используются программные средства, реализующие различные алгоритмы и помогающие создать достаточно точную математическую модель.

Перед проведением исследования были поставлены следующие задачи:

1. Построение корректной математической модели;
2. Проверка соответствия результатов моделирования основным теоретическим положениям работы тепломеханического оборудования[2].

Базой для исследования послужили данные, полученные в процессе эксплуатации турбопитательного насоса (ТПН) Калининской АЭС (КлнАЭС) в период с 1 января по 31 декабря 2014 года. Дополнительно были получены данные, отражающие состояние окружающей среды в районе расположения КлнАЭС в соответствующий период времени.

Следующим шагом являлся выбор показателя, отражающего эффективность работы ТПН. В качестве этого показателя был выбран КПД турбопитательного насоса, являющийся отношением энергии, переданной питательной воде, к тепловой энергии, затрачиваемой на привод насоса:



$$\eta = \frac{G(P' - P'')}{D(h_H - ct_K)}$$

где  $P$  – давление на напоре ТПН, Па;  $P'$  – давление воды на входе в бустерный насос ТПН, Па;  $G$  – расход питательной воды за ТПН, м<sup>3</sup>/с;  $D$  – расход пара к ТПН, т/ч;  $h_H$  – энтальпия пара, подаваемого на привод ТПН, кДж/кг;  $ct_K$  – энтальпия конденсата в конденсаторе ТПН, кДж/кг.

На следующем этапе исследования подбиралась наиболее подходящая методика построения математической модели. В ходе исследования использовалась комбинированная модель, полученная на основе применения нейросетевой технологии, сочетающая плюсы аналитических и статистических моделей [1]. Построенную математическую модель можно классифицировать как многомерную, так как количество входных переменных велико, по сравнению с одномерной моделью. Ещё одним свойством используемой модели можно назвать её нелинейность. Это утверждение основано на том, что реакция объекта на суммарное воздействие не равна сумме реакций объекта на элементарные воздействия. Применяемую модель можно также обозначить как дискретную, так как значения для анализа фиксировались через равные промежутки времени. Полученные в процессе моделирования данные подвергались анализу и отбирались такие эксперименты, чья зависимость не противоречит теоретическим положениям работы тепломеханического оборудования.

Погрешность работы математической модели, созданной в результате такого отбора, при расчётах КПД не превышала 2,26%.

В ходе исследования были получены зависимости показывающие, что низкая температура окружающей среды повышает КПД насоса. Это связано с тем, что температура окружающей среды напрямую связана с температурой охлаждающей воды на входе в конденсатор приводной турбины насоса, низкое значение которой в итоге позволяет увеличить тепловой перепад приводной турбины. На основе полученных значений можно сделать вывод, что экономичность подобного оборудования в зимнее время выше. В ходе исследования была создана работающая модель, удовлетворяющая теоретическим положениям работы тепломеханического оборудования, сформирована выборка факторов, непосредственно влияющих на КПД, сделана предварительная подготовка данных, выбрано оптимальное средство для построения модели. Полученная модель может использоваться для дальнейших исследований работы турбопитательного насоса.

**Библиографический список**

1. **Горбунов В.А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2011. – 475
2. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Турбины тепловых и атомных электрических станций/ Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Под редакцией А.Г. Костюка, В. В. Фролова М.: Издательство МЭИ, 2001. — 488 с. ил. ISBN:5-7046-0844-2

*И. П. Крылов, студ.; рук. В. К. Семенов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
РЕАКТИВНОСТИ НА ИМИТАТОРЕ РЕАКТОРА  
ВВЭР-1000**

Задачей работы является определение мощностного, температурного и барометрического коэффициентов реактивности на энергетических уровнях мощности реактора. При постоянном отравлении реактора ксеноном и самарием и неизменной концентрации борной кислоты изменение реактивности реактора при малых возмущениях определяется выражением [1]:

$$\Delta\rho = \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)\Delta T_b + \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)\Delta T_u + \left(\frac{\partial\rho}{\partial p}\right)\Delta p_1 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial N}\right)\Delta N. \quad (1)$$

Здесь введены следующие обозначения:  $\Delta T_b$ ,  $\Delta T_u$  – соответственно изменения температуры теплоносителя и топлива,  $\Delta p_1$  – изменение давления в первом контуре,  $\Delta N$  – изменение положения группы ОР СУЗ.

Используя уравнение теплового баланса в динамическом процессе для возмущенного движения и условие малости характерного времени теплопередачи от ТВЭЛов к теплоносителю по сравнению со временем переходного процесса, получим выражение баланса реактивности через выходные параметры реактора:

$$\left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)\Delta T_b + \left(\frac{\partial\rho}{\partial N}\right)_{A3}\Delta N_T + \left(\frac{\partial\rho}{\partial p}\right)\Delta p_1 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial N}\right)\Delta N = 0. \quad (2)$$

Здесь  $\frac{\partial\rho}{\partial T} = \frac{\partial\rho}{\partial T_b} + \frac{\partial\rho}{\partial T_u}$  – суммарный температурный коэффициент реактивности по температуре топлива и теплоносителя,

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{A3} = \frac{\partial \rho}{\partial T_u} \frac{1}{kF} - \text{мощностной коэффициент реактивности при по-}$$

стоянной температуре теплоносителя в активной зоне.

В ходе работы на ФАТе были реализованы следующие эксперименты:

1. Возмущение изменением положения ОР СУЗ. В этом случае уравнение (2) принимает вид:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right) \Delta T_{\text{вых}}^{(1)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{A3} \Delta N_T^{(1)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right) \Delta p_1^{(1)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial H}\right) \Delta H = 0. \quad (3)$$

2. Возмущение изменением давления в первом контуре при  $H_{\text{СУЗ}} = \text{const}$ .

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right) \Delta T_{\text{вых}}^{(2)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{A3} \Delta N_T^{(2)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right) \Delta p_1^{(2)} = 0. \quad (4)$$

3. Возмущение изменением температуры на входе в реактор при  $H_{\text{СУЗ}} = \text{const}$ .

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right) \Delta T_{\text{вых}}^{(3)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial N}\right)_{A3} \Delta N_T^{(3)} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right) \Delta p_1^{(3)} = 0. \quad (5)$$

Четвертое слагаемое уравнения (3) находится на основе ранее определенной интегральной характеристики 10-й группы стержней. Тогда система уравнений (3)-(5) содержит три неизвестных коэффициента реактивности. Решая данную систему, получим следующие значения коэффициентов реактивности:

- суммарный температурный коэффициент  $\alpha_T = -1,501 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;
- мощностной коэффициент  $\alpha_N = -4,516 \cdot 10^{-6} \text{ 1/МВт}$ ;
- барометрический коэффициент  $\alpha_p = 2,537 \cdot 10^{-6} \text{ 1/(кгс/см}^2\text{)}$ .

#### Библиографический список

1. Методики расчета нейтронно-физических характеристик по данным физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000: руководящий документ РД ЭО 0151-2004 / Концерн «Росэнергоатом». — М., 2005. — 101 с.

---

*N.A. Lonshakov, post-graduate student, V.A. Dunaev, student;  
supervisors V.A. Gorbunov, Doctor of technical science, as. prof.  
M.V. Filatova, Candidate of philological sciences, as. prof.  
(ISPU, Ivanovo)*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF NPP THERMAL AND MECHANICAL EQUIPMENT**

Nowadays, the nuclear power industry is actively developing energy management system. The basis of this system formation is the requirement of the international standard ISO 50001-2011 «Energy Management System. Requirements with guidance for use "[1]. The implementation of this standard requires the administrations of nuclear power plants to carry out measures to improve energy efficiency, energy security and energy consumption. The energy policy of Rosenergoatom Concern OJSC for each nuclear power plant formulated strategic goals aimed at reducing the cost of heat and electricity supplied to their auxiliary supplies. Turbine drive feed water pumps of a nuclear power plants are among the main consumers of thermal energy of the steam directed to the auxiliary supplies.

On basis of the complex the program with the mathematical modeling of neural network technology is created. The proposed technology for analyzing and improving the efficiency of operation thermal mechanical equipment operation of the NPP has the following advantages comparing to the other types of analysis[2]:

- software system algorithm is based on the use of experimental data operating of TDFWP, so it takes into account all the features of this pump,
- high accuracy of the results obtained while software system operating is error less than 3%,
- software package has a low resource-demanding on time, labor-intensive and hardware resources, software package can be created in limited information software.

As the object of the study selected turbine drive feed water pump №1 №2 unit of Kalinin NPP was selected.

Data eleven thermal mechanical parameters of the turbine drive feed water pump were obtained, that were received in the operating process was from 1 January to 31 December 2014.

The obtained data were subjected to primary processing and analysis. The analysis revealed variation coefficient of performance (COP) of the pump in the range of from 9.81% to 16.03%. In this case, a pump efficiency is the ratio of energy obtained from TDFWP feedwater to steam heat energy expended on the pump.

On the basis of the processed raw data a mathematical model of turbine drive feed water pump has a maximum error of calculations and it is not more than 3%. On the basis of a model the software package with the help of the programming language C # was created.

Software package provides protection from entering the complex parameters in which TDFWP can not work effectively.

Then a detailed analysis of the TDWFP for 2014 was carried out. The efficiency of the pump and the cost of heat supplied to the pump drive every 6 hours with the exception of downtime unit is determined.

The analysis cost take-out operation of the pump heat - 1,066,920 GJ/year (255,000 Gcal/year) is identified. This technology has allowed to define technically based rates of thermal energy for each test mode. Due to the difference between the real cost of heat supplied to the TDFWP and certain technically based standard of consumption thermal energy, potential savings up to 54 392 GJ/year (13,000 Gcal/year) heat supplied to the TDFWP is identified. Usage of this steam power in the subsequent stages of the energy the turbine would increase the electric power unit by an average of 0.5 MW.

Conclusions:

- This technique provides a technically sound rates of thermal energy to operate the turbine drive feed water pump №1 block №2 Kalinin NPP.
- Using the results obtained on the basis of software, will save heat energy of auxiliary supplies to TDFWP up to 13, 000 Gcal per year. The use of steam thermal energy in medium and low pressure cylinder main turbine average increase in the electric power unit of 0.5 MW (0.05% Nnom) will take place.
- The creation of electronic cards work regime TDFWP №1 block №2 through the use of developed software is planned.
- The developed technology can be applied to the analysis of thermal and mechanical equipment and other nuclear power plant equipment.

#### References

1. **Appendix №2** to Order OAO «Koncern Rosjenergoatom» ot 15.11.2013 № 9/1055-P «Strategicheskie celi i celi v oblasti jenergojefektivnosti na srednesrochnuju perspektivu [Strategic objectives in the field of energy in the medium term]».
2. **Gorbunov V.A.** *Ispol'zovanie nejrosetevyh tehnologij dlja povyshenija jenergeticheskoj jefektivnosti teplotehnologicheskikh ustanovok* [Using neural network technology to increase the energy efficiency of thermal installations] / FGBOUVPO «Ivanovo State Power Engineering University». – Ivanovo, 2011. – 475.

*Л.В. Лепилов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ В ПЕРВЫЙ КОНТУР ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы дозирования химических реагентов в первый контур энергоблока ВВЭР-1000 (система ТВ20).

Технологическая система дозирования химических реагентов в первый контур энергоблока ВВЭР-1000 предназначена для хранения и дозирования в теплоноситель первого контура необходимых реагентов с целью поддержания водно-химического режима при нормальной эксплуатации и его изменения в зависимости от режима работы реакторной установки (разогрев, расхолаживание и т.д.). В узле реагентов реакторного отделения (РО) для дозирования в первый контур используются аммиак, гидразингидрат и едкий калий.

Подгруппа аммиака предназначена для хранения и дозирования в первый контур аммиака с целью поддержания концентрации водорода в пределах заданных норм.

Подгруппа гидразингидрата предназначена для хранения и дозирования в первый контур раствора гидразингидрата с целью связывания избыточного кислорода.

Подгруппа едкого калия предназначена для хранения и дозирования в первый контур раствора едкого калия с целью поддержания pH теплоносителя первого контура в заданных пределах.

Узел реагентов РО включает в себя: баки ТВ21,22,23В01; насосы-дозаторы ТВ20Д01-05; запорную арматуру, трубопроводы; датчики КИП.

Для дозирования реагентов на всас подпиточных насосов используются одинаковые по конструкции насосы-дозаторы низкого давления  $P=1$  МПа ( $10 \text{ кгс/см}^2$ ) ТВ20D01-04. Также имеется высоконапорный насос высокого давления  $P=24,5$  МПа ( $250 \text{ кгс/см}^2$ ) ЗТВ20D05, осуществляющий ввод аммиака непосредственно в напорный трубопровод от подпиточных агрегатов в первый контур. При вводе аммиака в напорный трубопровод от подпиточных агрегатов в первый контур уменьшаются его потери с запирающей водой главных циркуляционных насосов. Направление вращения всех насосов по часовой стрелке со стороны двигателя.

Баки ТВ21,22,23В01 - ёмкости цилиндрической формы, изготовленные из аустенитной нержавеющей стали. Предназначены для оперативного хранения запасов реагентов: ТВ21В01 объёмом  $4,3 \text{ м}^3$  – для пятипроцентного раствора аммиака; ТВ22В01 объёмом  $4,3 \text{ м}^3$  – для трёхпроцентного раствора гидразингидрата; ТВ23В01 объёмом  $1,4 \text{ м}^3$  – для трёхпроцентного раствора едкого калия.

При разработке КОС по системе дозирования химических реагентов в первый контур энергоблока ВВЭР-1000 предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и умений», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы ТВ20, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему ТВ20 и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы дозирования химических реагентов в первый контур. 03.ТВ.ПЭ.0021.42. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы дозирования химических реагентов в первый контур. 03.ТВ.ЭС.0014.42. – Калининская АЭС.

*А.Е. Шуняев, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ БОРСОДЕРЖАЩЕЙ ВОДЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы борсодержащей воды (ТВ30) энергоблока АЭС с ВВЭР-1000.

Система борсодержащей воды предназначена для: создания запаса и хранения РБК в баках ЗТВ30В01,02; заполнения систем безопасности ЗТQ11,21,31,12,22,32, первого контура; заполнения и подпитки БВ; заполнения и подпитки бака аварийного запаса РБК ГА-201 ЗТQ10,20,30В01; заполнения самовсасывающих бачков на всасе насосов ЗТУ21,22,23D01; заполнения гидрозатвора бака ЗТУ20В01; автоматического регулирования уровня в деаэраторе подпитки ЗТК10В01; подачи РБК для переработки на выпарной установке СВО-6; приема теплоносителя первого контура при водообмене в ЗТВ30В01(02); приема РБК при дренировании первого контура, бака аварийного запаса РБК ЗТQ10,20,30В01, БВ, систем безопасности ЗТQ11,21,31,12,22,32; приема РБК из монжюса ЗТВ10В03; приема РБК по линии организованных протечек ЗТУ из ГО; приема РБК из ЗТУ20В01; приема РБК из систем ЗUR, ЗТН, ЗРР (СОДС).

Система борсодержащей воды ЗТВ30 состоит из: насосов борсодержащей воды ЗТВ30D01,02; насоса заполнения первого контура ЗТВ30D03; баков борсодержащей воды ЗТВ30В01,02; трубопроводов, арматуры, КИП.

При разработке КОС по технологической системе борсодержащей воды (ТВ30) энергоблока ВВЭР-1000 предполагается создание ком-



пьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и умений», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы TS20, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему ТВ30 и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы борсодержащей воды. 03.ТВ.ПЭ.0020.42. Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы борсодержащей воды. 03.ТВ.ЭС.0015.42. Калининская АЭС.

*Е.С. Митрофанова, студ.; рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В АВАРИЙНЫХ И ЧЕРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Аварии на АЭС "Фукусима" и Чернобыльской АЭС показывают необходимость нахождения альтернативного источника энергии для обеспечения собственных нужд электростанции, чтобы не допустить расплавление активной зоны реактора в ходе аварийной ситуации.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что необходимо не допустить аварийных ситуаций на Ленинградской АЭС, связанных с экстренным отключением электроэнергии. Также это позволит сделать атомную энергетику более безопасной.

Цель работы - найти альтернативные источники энергии для Ленинградской АЭС, которые смогут обеспечить собственные нужды станции, при полном аварийном обесточивании АЭС.

Были рассмотрены возможные альтернативные источники энергии для Ленинградской АЭС и выявлены наиболее рентабельные.

Критерием отбора источников послужила географическая расположенность города Сосновый Бор, необходимость найти альтернативный источник энергии и минимизация финансовых затрат.

Были рассмотрены альтернативные источники энергии: гелиотермальная электростанция, воздушная электростанция, приливная электростанция, ветрогенератор, и установлено, что ни один из них не подходит для данной АЭС.

Было обнаружено, что в 40км к западу расположено крупнейшее по значимости и добычи горючего сланца предприятие "Ленинградсланец". Сланцы используются в качестве топлива в производстве тепловой и электроэнергии, соответственно можно получить некоторое количество энергии необходимое на собственные нужды АЭС, используя энергию сгорания сланцев, и использование торфа в качестве топлива. В Ленинградской области располагается одно из крупнейших объединений по добыче торфа "Ленторф".

Ленинградская АЭС затрачивает 8% от выработанной энергии на собственные нужды.

Средняя выработка энергии в год на Ленинградской АЭС составляет 2813529600 МДж = 781536000 кВт·ч. Затраты Ленинградской АЭС на собственные нужды составляют 196947072 МДж = 54707520 кВт·ч .

Средняя выработка электростанции на торфе составляет 738000000 МДж =  $205 \cdot 10^6$  кВт·ч, на сланцах электроэнергия будет равна  $245 \cdot 10^6$  кВт·ч. (Все выработки электроэнергии рассчитаны на год, т.е в среднем необходимо приблизительно 61тыс. тонн торфа в год, горючего сланца приблизительно 50 тыс. тонн.)

Следовательно, для обеспечения Ленинградской АЭС электроэнергией в аварийном режиме для собственных нужд АЭС, необходимо построить электростанцию на торфе или угле с мощностью 87 МВт, она будет вырабатывать около 280 млн. кВт·ч.

*С.В. Груздев, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С КОТЛОМ- УТИЛИЗАТОРОМ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ НА АЭС С ВВЭР-ТОИ**

В соответствии с утвержденной энергетической стратегией России до 2030 года [1] целью энергетической политики нашей страны является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

Атомная энергетика обладает способностью к воспроизводству собственной топливной базы и возможностью энерготехнологического применения. Эти ее принципиальные особенности формируют адекватный приоритет атомной энергетики в перспективе.

На данном этапе одной из поставленных задач перед отраслью является повышение эффективности и конкурентоспособности атомной энергетики в целом, обеспечение конкурентоспособных удельных капитальных вложений АЭС при сохранении приоритета безопасности, не ограничивающего масштабы развития [2].

При увеличении доли АЭС в общем энергобалансе страны, актуальным становится вопрос увеличения маневренности регулирования энергоблоков с сохранением показателей эффективности, ведь как известно, в техническом отношении АЭС не приспособлены к работе в переменных режимах.

Одним из основных направлений в решении проблемы повышения маневренности АЭС является комбинирование газотурбинной установки (ГТУ) с энергоблоками АЭС [3]. ГТУ обладают высокой маневренностью, поэтому их выгодно использовать для пиковых потребителей энергии. Имеющийся положительный опыт совмещения газового и парового циклов на ТЭС с утилизацией теплоты уходящих газов ГТУ в тепловой схеме паровой турбины показывает обоснованность таких разработок. Включение в работу газовой турбины параллельно с паровой будет способствовать не только получению дополнительной мощности на АЭС, но и увеличению тепловой экономичности всего энергоблока.

В настоящее время известны различные установки с комбинированием энергоблока АЭС и ГТУ [4,5,6]. Одним из вариантов является

применение котлов-утилизаторов (КУ) в схеме парогазовой установки (ПГУ). В современных ГТУ температура газа на выходе составляет порядка 600 °С и более. При таких высоких температурах применение одноконтурных КУ не эффективно [5]. Увеличение экономичности ПГУ требует более глубокого охлаждения газов. Для этого приходится переходить к схемам с двумя и даже тремя уровнями давления. Схема установки при этом, естественно, усложняется. Нами рассмотрена схема новой серийной АЭС с реактором ВВЭР-ТОИ по проекту В-510 с утилизацией теплоты выхлопных газов в котле-утилизаторе двух давлений (рис.1).

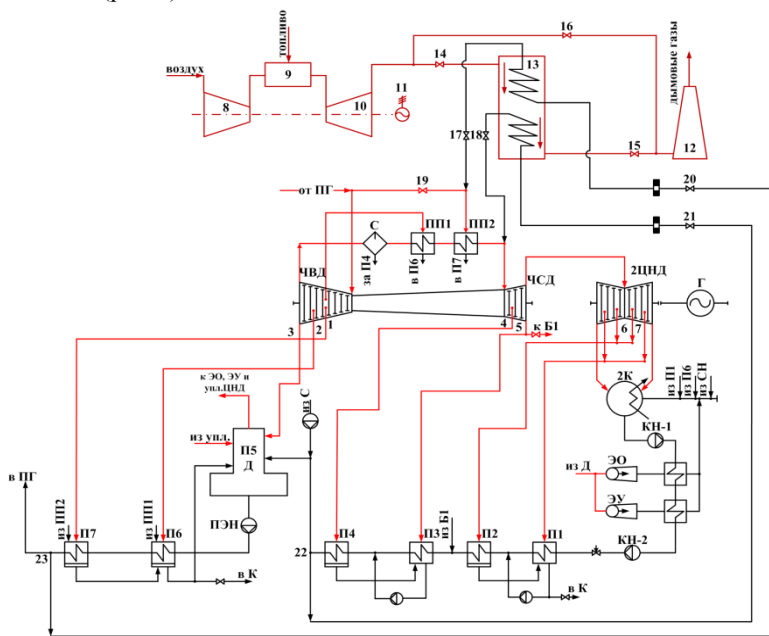


Рис.1. Схема ПГУ АЭС с ВВЭР-ТОИ, ПГУ на базе К-1250-6,9/25 и котлом-утилизатором двух давлений: 1-7 – нерегулируемый отбор пара; 8 – компрессор; 9 – камера сгорания; 10 – газовая турбина; 11 – генератор ГТУ; 12 – дымовая труба; 13 – котел-утилизатор; 14-21 – отключающая арматура; 22-23 – отбор питательной воды на КУ

В приведенной схеме пар высокого давления используется для замещения отбора пара на второй паропаровой перегревателе по ходу движения пара. Пар низкого давления подается на вход цилиндра среднего давления перед стопорным клапаном. Отборы питательной воды осуществляются после группы ПВД и перед деаэратором на ступени высокого и низкого давлений КУ соответственно. Применение

двухконтурного КУ позволяет повысить эффективность на 4÷6 % [6] по сравнению с одноконтурным КУ. Пар низкого давления КУ, кроме использования в ЧСД турбины, может применяться для питания приводной турбины, а также отводиться потребителю теплоты, но для этого потребуется питание КУ от контура сетевой воды.

Таким образом, применение парогазовых технологий на АЭС позволит добиться не только увеличения мощности и маневренности станции, но и повысить ее экономичность. Что в свою очередь ведет к снижению себестоимости электроэнергии вырабатываемой на ПГУ.

#### Библиографический список

- 1.Об утверждении энергетической стратегии России на период до 2030 года. Распоряжение правительства РФ от 13 ноября 2009 года.
- 2.Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Министерство энергетики Российской Федерации, 2014. с 218.
- 3.А.Г. Ильченко и др. Эффективность применения парогазовых технологий на АЭС с турбинами насыщенного пара. Вестник ИГЭУ. Вып.5, Иваново, 2015, с.2.
- 4.А.Д. Трухний. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов.— М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
- 5.И.Д. Фурсов и др. Котлы-утилизаторы, предназначенные для работы в составе энергоблоков ПГУ. Ползуновский Вестник: №4/3, 2013. с 120.
- 6.Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные установки. СПб: - Изд. СПбПУ, 2010. с 223.

*М.В. Чечуй, Д.И. Нестерец, Н.О. Разуваев, Н.С. Железов, студ.;*  
*рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРВОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Все технологические системы (ТС) энергоблока ВВЭР-1000 и структурно, и эксплуатационно, и организационно делят на системы первого и второго контура. В свою очередь ТС первого контура или контура ядерной паропроизводящей установки (ЯППУ) подразделяют на системы основного технологического процесса и на вспомогательные системы. Кроме того, для аварийных ситуаций, т.е в случае выхода технологических параметров за безопасные пределы, предусмотрены системы безопасности. [1]

Суть основного технологического процесса в ЯППУ: нагрев теплоносителя в ядерном реакторе, его движение к парогенераторам, передача теплоты в парогенераторах к рабочему телу второго контура, возврат теплоносителя при помощи главных циркуляционных насосов в ядерный реактор, - отображается принципиальной тепловой схемой (ПТС). ПТС, как правило, включает в себя ТС основного технологического процесса. Вспомогательные системы ЯППУ обеспечивают поддержание требуемого уровня технологических параметров в нормальных условиях эксплуатации и при их нарушении. На основе ПТС составляют полную или развернутую тепловую схему (РТС). РТС первого контура энергоблока ВВЭР-1000 включает в себя как ТС основного технологического процесса, так и вспомогательные системы и системы безопасности, а именно [2]:

- УВ** – ТС парогенераторов;
- УС** – ТС ядерного реактора;
- УД** – ТС ГЦН и его маслоснабжения;
- УР** – ТС компенсации давления;
- УТ** – ТС аварийного охлаждения зоны (пассивная часть);
- УZ** – ТС защиты реактора;
- ТА** – ТС маслоснабжения реакторного отделения;
- ТВ** – ТС бакового хозяйства и реагентов реакторного отделения;
- ТС** – ТС байпасной очистки воды первого контура;
- ТD** – ТС очистки и хранения теплоносителя первого контура (СВО-6);
- ТЕ** – ТС очистки организованных протечек и продувочной воды;
- ТF** – ТС промконтура;
- ТG** – ТС охлаждения бассейна выдержки и перегрузки;
- ТH** – ТС отмывки уплотнений ГЦН;
- ТK** – ТС подпитки-продувки первого контура;
- ТL** – ТС вентиляции и кондиционирования;
- ТN** – ТС дистиллята;
- ТP** – ТС азота, газовых сдувок и сжатого воздуха;
- ТR** – ТС очистки трапных вод (СВО-3);
- ТS** – ТС дожигания водорода и очистки газов;

**TQ** – ТС безопасности (расхолаживание ЯППУ);  
**TV** – ТС отбора проб первого контура и СВО;  
**TX** – ТС аварийной подпитки парогенераторов;  
**TU** – ТС организованных протечек первого контура;  
**TZ** – ТС спецанализации;  
**VB** – ТС технического водоснабжения неотвественных потребителей;  
**VF** – ТС технического водоснабжения ответственных потребителей;  
**VG** – ТС техводоснабжения ответственных потребителей в районе ББ;  
**UG** – ТС подачи азота высокого давления на ресиверы;  
**UN** – ТС бакового хозяйства спецпрачечной;  
**UT** – ТС сжатого воздуха к пневмоприводной арматуре;  
**UV** – ТС вентиляции и кондиционирования;  
**UJ** – ТС пожаротушения.

В настоящее время РТС первого контура энергоблока ВВЭР-1000 представлена в виде альбома схем отдельных ТС ЯППУ. Такое представление не даёт ясной картины и понимания связей отдельных ТС между собой. А такое понимание абсолютно необходимо для изучения ТС и эксплуатации ядерного энергоблока. Поэтому представляется актуальным и совершенно необходимым разработка полной тепловой схемы первого контура энергоблока ВВЭР-1000 в виде единой схемы со всеми связями между отдельными ТС.

#### Библиографический список

1. Зорин В.М. Атомные электростанции. Учебное пособие. М: Издательский дом МЭИ, 2012 г.
2. Альбом эксплуатационных схем технологических систем первого контура энергоблока №3. – Калининская АЭС.

*В.С. Колегаев, А.А.Ширинов, студ.;  
рук. В.К. Семенов, д.т.н., профессор.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА ПРИ ОТКАЗАХ ОБЩЕБЛОЧНЫХ ЗАЩИТ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЕМ РЕАКТИВНОСТИ

В настоящее время АЭС - перспективное направление для получения тепловой и электрической энергии.

Для обеспечения безопасной и функциональной работы в реакторе ВВЭР-1000 предусмотрены различные системы защит, имеющие свои

приоритетные установки: Аварийная защита, предварительная защита первого рода ПЗ-1, РОМ- разгрузка и ограничение мощности, УРБ – ускоренная разгрузка блока , ПЗ-2 – предварительная защита второго рода, АРМ – автоматический регулятор мощности (список приведен в порядке уменьшения приоритета защиты) .

Каждая защита кроме приоритетности имеет так же свои установки по условиям срабатывания. Для РУ В-320 с реакторами ВВЭР-1000 определены следующие проектные пределы безопасной эксплуатации по теплогидравлическим параметрам РУ:

Таблица 1. Проектные пределы безопасной эксплуатации

Критерий	Величина
Уровень плотности нейтронного потока	107% $N_{ном}$
Период изменения потока тепловых нейтронов	10 с.
Максимальное давление в 1-м контуре, кгс/см <sup>2</sup>	180/190
Минимальное давление в 1-м контуре, кгс/см <sup>2</sup>	$N > 75\% 150/P_{1к}(t_s + 10^\circ C)$ $N < 75\% 140/P_{1к}(t_s + 10^\circ C)$

Исследование проводилось на базе функционально-аналитического тренажера, позволяющего симулировать работу энергоблока в штатных и аварийных режимах. В ходе исследования были смоделированы следующие аварийные ситуации: неуправляемое извлечение стержней, повышение и понижение давления в первом контуре и др.

К примеру, на рис. 1 представлены зависимости основных параметров первого контура при неуправляемом извлечении органов СУЗ в течение некоторого времени до срабатывания АЗ.

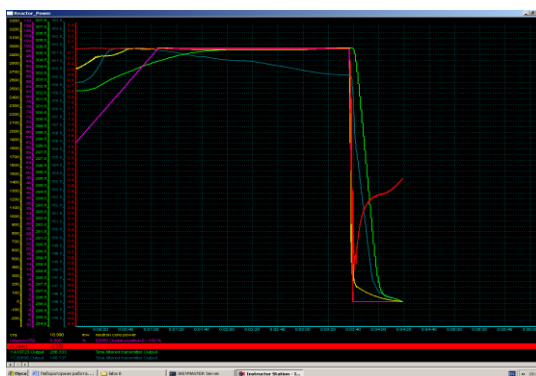


Рис. 1. Зависимости основных параметров от времени в ходе извлечения стержней (красная- реактивность, фиолетовая- положение органов СУЗ ит.д.)



По итогам проведенной симуляции можно сделать следующий вывод: реакторы ВВЭР-1000 надежно работают в таких аварийных ситуациях как неуправляемое извлечение стержней, понижение и повышение давления в первом контуре.

#### Библиографический список

1. Семенов В.С. Вольман М.А., Нейтронно-физические реакторные измерения.: учеб. пособие / Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», 2015. – 88 с.
2. Семенов В.С. Вольман М.А. „Кинетика ядерных реакторов.: учеб. Пособие / Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина», 2015. – 272 с.

*Д.И. Нестерец, М.В. Чечуй, Н.С. Железов, Н.О. Разуваев, студ.;*  
*рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВТОРОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Все технологические системы (ТС) энергоблока ВВЭР-1000 и структурно, и эксплуатационно, и организационно делят на системы первого и второго контура. В свою очередь ТС второго контура или контура паротурбинной установки (ПТУ) подразделяют на системы основного технологического процесса и на вспомогательные системы. [1]

Суть основного технологического процесса в ПТУ: получение свежего пара в парогенераторах, подача пара в проточную часть турбоагрегата, конденсация отработавшего пара в конденсаторе основной турбины, регенеративный подогрев основного конденсата и питательной воды, подача питательной воды в парогенераторы, - отображается

принципиальной тепловой схемой (ПТС). ПТС, как правило, включает в себя ТС основного технологического процесса. Вспомогательные системы ПТУ обеспечивают поддержание требуемого уровня технологических параметров в нормальных условиях эксплуатации и при их нарушении. На основе ПТС составляют полную или развернутую тепловую схему (РТС). РТС второго контура энергоблока ВВЭР-1000 включает в себя как ТС основного технологического процесса, так и вспомогательные системы, а именно [2]:

- SA** – ТС паровой турбины;
- SB** – ТС подшипников паровой турбины;
- SC** – ТС смазки паровой турбины;
- SD** – ТС конденсаторов турбины и эжекторов;
- SE** – ТС регулирования паровой турбины;
- SF** – ТС отсоса паровоздушной смеси в конденсатор;
- SG** – ТС пара на уплотнения и эжекторы;
- SH** – ТС дренажей турбины;
- SQ** – ТС подшипников генератора;
- SS** – ТС водяного охлаждения обмоток статора ТГ;
- SU** – масляная система уплотнения вала генератора;
- ST** – ТС замкнутого контура ОГЦ;
- RA** – ТС главных паропроводов турбины;
- RB** – ТС промежуточного перегрева пара;
- RC** – ТС сброса пара в конденсаторы турбины (БРУ-К);
- RD** – ТС регенерации высокого давления;
- RF** – ТС водяного уплотнения ТПН;
- RH** – ТС регенерации низкого давления;
- RL** – ТС питательной воды;
- RM** – ТС основного конденсата;
- RN** – ТС конденсата греющего пара;
- RQ** – ТС паропроводов собственных нужд;
- RR** – ТС расхолаживания блока через технологический конденсатор;
- RT** – ТС дренажей машзала и обвязки дренажного бака;
- RW** – ТС конденсата ТПН;
- RY** – ТС продувки парогенераторов;
- UA** – ТС Химочищенной воды;
- UE** – ТС гидроиспытаний и продувки датчиков КИП;
- UM** – ТС теплофикационной установки;
- VB** – ТС техводоснабжения неотчетственных потребителей;
- VC** – ТС циркуляционной воды;
- VJ** – ТС экспресс лаборатории;

В настоящее время РТС второго контура энергоблока ВВЭР-1000 представлена в виде альбома схем отдельных ТС ПТУ. Такое представление не даёт ясной картины и понимания связей отдельных ТС между собой. А такое понимание абсолютно необходимо для изучения ТС и эксплуатации ядерного энергоблока. Поэтому представляется актуальным и совершенно необходимым разработка полной тепловой схемы второго контура энергоблока ВВЭР-1000 в виде единой схемы со всеми связями между отдельными ТС.

#### Библиографический список

1. Зорин В.М. Атомные электростанции. Учебное пособие. М: Издательский дом МЭИ, 2012 г.
2. Альбом эксплуатационных схем технологических систем второго контура энергоблока №3. – Калининская АЭС.

*Н.М. Попов, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА АЭС

Существующая в России структура электрогенерирующих мощностей создает определенные трудности в прохождении системой минимума нагрузки. Актуальной проблемой в современной энергетике является также прохождение суточных максимумов электрической нагрузки, так как в энергосистеме имеется нехватка специализированных пиковых мощностей.

В последнее время вновь возникает необходимость привлечения АЭС к регулированию частоты в энергосистеме, для чего приходится искать пути повышения маневренности АЭС. Для этого существует несколько путей:

- разработка специализированных высокоманевренных АЭС, допускающих изменение мощности энергоблока в широком диапазоне;
- создание систем аккумулирования тепловой энергии (САТЭ), которые обеспечат возможность участия АЭС во всех видах регулирования электрической нагрузки.

Необходимо отметить, что первый путь неприемлем по причине снижения КИУМ АЭС и необходимости огромных затрат.

Второй путь может быть реализован как на действующих АЭС (в пределах допустимого перегрузочного резерва турбогенератора), так и

на вновь проектируемых АЭС с ВВЭР-1000, в частности, на АЭС, сооружаемых в рамках проекта «АЭС-2006».

АЭС в составе энергокомплекса АЭС+САТЭ эксплуатируется в стационарном (базовом) режиме. При этом коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) системы АЭС+САТЭ в маневренных режимах близок к значению КИУМ для АЭС, работающей в базовом режиме.

САТЭ может выполняться в двух вариантах:

- 1) аккумулирование горячей воды в системе регенерации турбины: аккумуляторы высокого давления (аккумуляторы питательной воды – АПВ) и аккумуляторы низкого давления (в баках-аккумуляторах западается горячий конденсат после ПНД);
- 2) аккумулирование горячей воды системы теплоснабжения (аккумуляторы сетевой воды – АСВ).

В часы прохождения ночного минимума электрической нагрузки увеличивается расход пара на теплообменники пикового контура САТЭ. При этом происходит некоторое снижение электрической мощности АЭС. В утренние и вечерние часы, когда потребность в электрической мощности высока, отключаются регенеративные или сетевые подогреватели, а высвобождающийся пар направляется в турбину, где вырабатывает дополнительную мощность. Горячая вода в схему регенерации (тепловые сети) поступает в это время из аккумуляторных баков.

Использование аккумуляторов тепла низкого давления в схеме регенерации энергетически менее эффективно, чем применение аккумуляторов питательной воды, однако капитальные затраты в САТЭ в этом случае наименьшие. Кроме того, САТЭ с аккумуляторами горячей воды низкого давления может быть реализована и на действующих АЭС.

Аккумулирование сетевой воды в системах теплоснабжения от АЭС более приемлемо, т.к. позволяет использовать оборудование АЭС в номинальном режиме, что невозможно на АЭС с АПВ, а также дает возможность получения максимальной пиковой мощности в зимний период, когда потребность в ней наиболее высока.

В частности, при организации теплоснабжения крупных городов от специализированных атомных теплоэлектроцентралей (АТЭЦ) с использованием аккумуляторов сетевой воды обеспечивается их достаточно высокая эффективность.

Сравнение вариантов получения пиковой электроэнергии на АТЭЦ с АСВ и на специализированной пиковой ГТУ [1] показало, что при величине расчетной тепловой нагрузки двухблочной АТЭЦ с ВВЭР-

1000 и турбинами ТК-450/500-60, равной 2000 МВт (продолжительность времени заряда АСВ 8 часов в сутки и продолжительность разряда 4 часа в сутки), вырабатываемое за год количество дополнительной пиковой электроэнергии достигает 338000 МВт·ч. При этом годовая недовыработка электроэнергии в ночной период составляет 258000 МВт·ч. При этих условиях приведенные затраты на производство пиковой электроэнергии специализированной ГТУ в 1,5 раза превышают аналогичные затраты на производство пиковой электроэнергии АТЭС с АСВ.

Таким образом, применение аккумуляторов тепла на АЭС и АТЭС позволит не только вырабатывать относительно дешевую пиковую электроэнергию, но и облегчить прохождение ночных минимумов электрической нагрузки в энергосистеме.

#### Библиографический список

1. **Ильченко А.Г.** Аккумуляторы тепла на АЭС и АТЭС / А.Г. Ильченко [и др.] // Печатный Межвузовский сборник научных трудов «Оптимизация тепловых схем и режимов работы ТЭС и АЭС», М.: МЭИ. — 1985. — №82. — С. 99 — 105.

*Разуваев Н.О., Железов Н.С., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой.

Современные мощные паротурбинные установки (ПТУ) обладают развитой системой регенеративного подогрева питательной воды (РППВ). В регенеративные подогреватели направляется до (30 – 40)% общего расхода пара, проходящего регулируемые клапаны ЧВД.

Временное отключение регенеративных отборов пара – один из простых способов быстрого получения дополнительной мощности [1,2,3].

В данной работе с использованием ФАТ и ПМТ энергоблока ВВЭР-1000 проведены исследования по изменению электрической мощности ПТУ К-1000-60/3000 при отключении и последующем подключении регенеративных подогревателей воздействием на КОС их паропроводов.

При проведении экспериментальных исследований как на ФАТ, так и на ПМТ для отключения и подключения ПНД и ПВД используются соответственно панели управления НУ-29 и НУ-36.

Экспериментальные исследования проводились при различных уровнях нейтронной мощности ядерного реактора ( $N_p$ ), а именно:  $N_p=100\%$ ;  $N_p=75\%$ ;  $N_p=50\%$ . Причем эти мощности поддерживаются постоянными работой автоматического регулятора нейтронной мощности ядерного реактора за весь период проведения испытаний с отключением и последующим подключением элементов РППВ.

При реализации работы на ФАТ энергоблока ВВЭР-1000 необходимый контроль изменения технологических параметров производится с помощью графиков зависимостей нейтронной мощности ядерного реактора во времени ( $N_p=f(\tau)$ ); электрической мощности энергоблока во времени ( $N_э=f(\tau)$ ); температуры питательной воды во времени ( $t_{пв}=f(\tau)$ ) (Рис.1). В качестве примера, на Рис.2 приведены отмеченные графики для исходного режима  $N_p=100\%$ . Заинтересованные лица при необходимости могут обратиться за соответствующими разъяснениями и дополнительной информацией к авторам статьи.

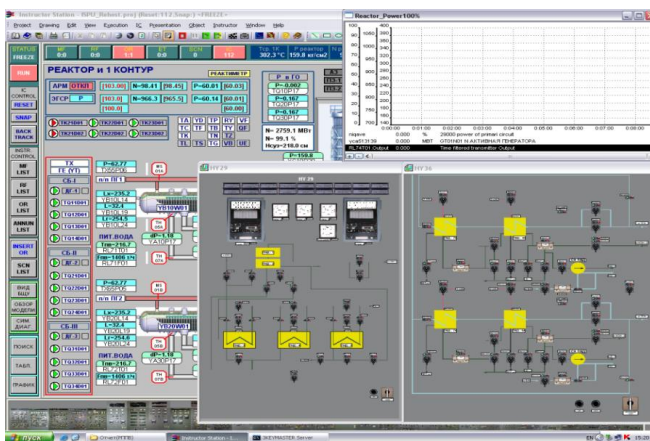


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда ФАТ

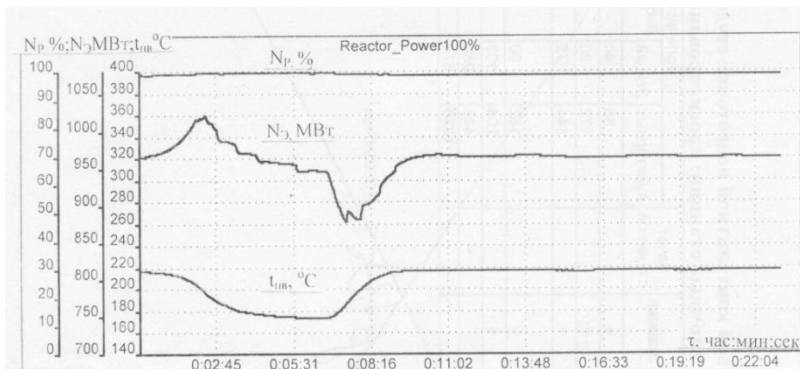


Рис. 2. Изменение мощности реактора ( $N_p$ , %) турбогенератора ( $N_T$ , МВт) и температуры питательной воды ( $t_{пв}$ , °C) во времени ( $\tau$ , час:мин:сек) при отключении и подключении ПВД. (Исходный режим  $N_p=100\%$ ).

#### Библиографический список

1. Иванов В.А. Режимы мощных паротурбинных установок. Л.: «Энергия», 1971.
2. Пивень В.Д., Богданов В.К., Ганжерли Э.И. и др. Автоматизация энергетических блоков. Л.: «Энергия», 1965.
3. Гиришфельд В.Я., Бахусов В.Н. Влияние емкостей системы регенерации на приемистость турбоустановки. «Теплоэнергетика», 1964, №8.

*С.А. Щепин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДОЖИГАНИЯ ВОДОРОДА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы дожигания водорода энергоблока ВВЭР-1000 (система TS10).

Система дожигания водорода предназначена для предотвращения образования взрывоопасной смеси при поступлении газов из дегазатора в систему спецгазоочистки методом каталитического окисления (сжигания) водорода. Система обеспечивает непрерывное дожигание водорода в течение всего времени работы блока.

Система включается в работу вместе с разогревом дегазатора и работает непрерывно вместе с системой подпитки-продувки первого контура.

Система дожигания водорода работает таким образом, что парогазовая смесь из дегазатора подпитки поступает сначала в охладитель выпара, в котором пар конденсируется. Неконденсирующиеся газы, такие как азот и водород, направляются в охладитель газов циркуляции, в который помимо них дополнительно поступает поток газа из контура циркуляции. Расход газов в циркуляционном контуре превышает расход поступающих газов из дегазатора подпитки, что обеспечивает разбавление газовой смеси до взрывобезопасной концентрации при максимальном поступлении водорода. Далее газовая смесь поступает в буферные емкости для обеспечения нормальной работы системы измерения (с учетом ее инерционности и плавного регулирования концентрации кислорода). Из буферных емкостей газовая смесь забирается газодувкой, которая нагнетает газ в электронагреватель, и далее газ поступает в контактный аппарат. В нем на катализаторе и происходит сгорание (окисление) водорода. Необходимый для сжигания кислород подается с таким расчетом, чтобы концентрация водорода перед контактным аппаратом составляла 2%. Повышенная концентрация кислорода же ухудшает условия взрывобезопасности установки дожигания водорода.

Проведение испытаний оборудования системы разрешается только по программам, утвержденным главным инженером станции и зарегистрированным в ПТО. Все переключения проводятся по заявке главного инженера станции, с разрешения НС АС. В случае обнаружения неисправностей, угрожающих начальной эксплуатации, немедленно принимаются меры к отключению поврежденного участка и исключению доступа людей в аварийную зону. Все работы, связанные с разгерметизацией системы дожигания водорода разрешается проводить только после ее расхолаживания и продувки азотом.

При разработке КОС по системе дожигания водорода предполагает-



ся создание компьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и умений», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы TS10, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему TS10 и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы дожигания водорода 03.TS.ПЭ. 0014.42. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы дожигания водорода 03.TS.ЭС. 0018.42. – Калининская АЭС.

*О.М. Солунина, студ., рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Доля энергии мирного атома в энергобалансе России составляет около 17%. На данный момент на территории страны функционируют 10 АЭС. Все они обладают высоким уровнем надежности и безопасности. Одним из таких гарантов выступают дизель-генераторы, которые обеспечивают аварийное энергоснабжение энергоблоков в случае чрезвычайной ситуации. Однако пример происшествия марта 2011 года на японской АЭС «Фукусима-1» показывает, что работа дизель-генераторов может быть нарушена. В приведенной ситуации они были запущены в аварийном порядке по причине отключения внешнего

энергоснабжения, но вышли из строя из-за цунами, что привело к перегреву активной зоны реактора и его расплаву.

Таким образом, целью работы является нахождение источников энергии, которые смогут повысить надежность Нововоронежской АЭС в случае аварийной ситуации при потере мощности, обеспечить такое количество энергии, которое бы поддерживало функциональность ГЦН (главного циркуляционного насоса).

Проектная граница санитарно-защитной зоны (СЗЗ) Нововоронежской АЭС представляет собой объединение 2 окружностей: одна – радиусом 2,25 км от венттрубы энергоблоков №3 и №4, другая – радиусом 2,0 км от венттрубы энергоблока №5. Общая площадь СЗЗ составляет примерно 18 км<sup>2</sup> [1].

Мощность собственных нужд 5 энергоблока ВВЭР-1000 составляет 65 МВт. А мощность ГЦН для такого типа энергоблоков – 4,8 МВт. То есть во избежание катастрофических последствий аварийной ситуации, нужно обеспечить мощность 4,8 МВт [2].

На основе проведенных расчетов установлено, что самым выгодным и надежным источником возобновляемой энергии является гидроаккумулирующая электрическая станция (ГАЭС). Ее строительство можно реализовать за счет Воронежского водохранилища, которое находится в 45 км от АЭС. Такая ГАЭС послужит идеальным дополнением к маломаневренной АЭС. Ночью, когда нагрузка в энергосистеме падает, ГАЭС будет работать в насосном режиме, потребляя электроэнергию и закачивая воду в верхний бассейн. Утром и вечером при максимальных нагрузках в энергосистеме – будет переходить в турбинный режим, сбрасывая воду в нижний бассейн и вырабатывая электроэнергию. Таким образом, при возникновении аварийной ситуации ГАЭС в считанные минуты сможет выдать необходимую мощность. К преимуществам ГАЭС, помимо относительно высокого значения КПД 70-75%, относится также и низкая стоимость строительных работ. Из-за оперативного реагирования на изменения нагрузки в энергосистеме и в течение нескольких минут набора с нуля значительной мощности, ГАЭС является очень надежным источником энергии, основанной на возобновляемых ресурсах [3].

#### Библиографический список

1. [http://www.rosatom.ru/resources/88e5fd0040dd78e19603f66048932ed2/novovoronezh\\_ekor\\_eport\\_2012.pdf](http://www.rosatom.ru/resources/88e5fd0040dd78e19603f66048932ed2/novovoronezh_ekor_eport_2012.pdf)
2. <http://mash-xxl.info/info/27422/>
3. <http://greenevolution.ru/enc/wiki/gidroakkumuliruyushhaya-elektrostanciya-gaes/>

*П.С. Шеберстов, асп.; А.И. Зимин, студ.;  
рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АЭС-ТНС

В электричество переходит только 1/3 энергии сгоревшего топлива, а 2/3 уходят с низкпотенциальным сбросным теплом в водоемы-охладители или градирни. Полезное использование сбросного тепла решает сразу две проблемы:

- экономическую (увеличение выручки за счет продажи тепла, отказ от больших градирен, более эффективное использование топлива);
- экологическую (снижение во много раз теплового загрязнения окружающей среды).

На рынке электроэнергии вклад АЭС ~16-17%, а на огромном, вдвое большем рынке тепла, АЭС занимают доли процента.

Тепловые сбросы АЭС могут быть переведены в высокопотенциальное тепло (80-95)<sup>0</sup>С с помощью тепловых насосов (ТН) на диоксиде углерода (СО<sub>2</sub>) нового поколения единичной мощностью 100 МВт и более. Их разработка ведется НПФ «ЭКИП» при поддержке ОАО «Концерн Росэнергоатом».

ТН на СО<sub>2</sub> имеют более высокий, чем ТН на фреонах, коэффициент преобразования: на 1 кВт·ч (эл.), затраченный на работу ТН, он выдает от 4 до 5 кВт·ч тепла.

**Таблица 1 Основные характеристики теплонасосной установки ТНСО<sub>2</sub>-100.000**

Теплопроизводительность	МВт(т)	100
Потребляемая мощность	МВт(э)	25
Температуры нагреваемого теплоносителя	<sup>0</sup> С	10/100
Температуры охлаждаемого теплоносителя	<sup>0</sup> С	26/16
Габариты, ДхШхВ	м	18,5x14x17,5
Масса	т	270
Удельная стоимость	\$/кВт(т)	250

Технологии АЭС-ТНС позволяют реализовать следующие возможности:

- создание на базе АЭС многофункциональных системообразующих энергокомплексов регионального уровня;
- производство тепла теплофикационных параметров в объеме до 2500 МВт от одного энергоблока типа ВВЭР-1200;

- многократное снижение паровлажностных и тепловых сбросов из градирен АЭС и сброса тепла в водоемы;
- сокращение срока окупаемости АЭС;
- увеличение КИУМ АЭС;
- повышение эффективности использования энергии ядерного топлива.

При использовании ТН только для целей теплоснабжения выручка блока АЭС мощностью 1,2 ГВт(эл) возрастает с ~6 млрд.руб./год до 12-16 млрд.руб./год (в зависимости от стоимости тепла в регионе) при том же расходе ядерного топлива, без выброса в атмосферу  $\text{CO}_2$  и без потребления атмосферного кислорода.

Технология АЭС-ТНС может применяться в следующих областях:

- объекты ЖКХ;
- производства стройиндустрии;
- химические производства, в т.ч. производство кормового белка и удобрений;
- биотехнологические производства, в т.ч. производство биокормов, биодобавок и биотоплива;
- производство и переработка сельхозпродукции, в т.ч. предприятий малого и среднего бизнеса.

При применении тепловых насосов на АЭС в качестве источников низкопотенциального тепла могут быть использованы такие потоки как вода промежуточных контуров охлаждения вспомогательных систем реакторного отделения, сбросная вода после маслоохладителей турбины и генератора, системы охлаждения генератора и другие потоки. Если не рассматривать сбросную воду после конденсаторов турбин, то потенциал низкопотенциальной энергии, пригодной для использования в теплонасосных системах (ТНС) можно оценить примерно величиной не менее 50 – 70 МВт для блока мощностью 1000 МВт (эл). Особое внимание при интегрировании ТН в схему энергоблока следует уделить выбору рациональных схем включения ТН, выбору их оптимальных характеристик и режимов работы.

Развитие атомно-теплонасосной теплофикации поможет повысить рентабельность АЭС, сократить срок их окупаемости и позволит превратить АЭС в центр стабильного и дешевого энергообеспечения региона, а также в крупномасштабный возобновляемый источник энергии.

*А.В. Курдяшкина, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ АВАРИЙНОЙ ПОДАЧИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой.

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы деаэрационной установки питательной воды энергоблока ВВЭР-1000. КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений». КУП разработан на основании первоисточников [1,2] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы ТХ, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы: подготовка к работе, пуск, эксплуатация в стационарном режиме работы блока, останов, вывод в ремонт.

Система аварийной подачи питательной воды в парогенераторы энергоблока ВВЭР-1000 предназначена для подачи питательной воды в парогенераторы в аварийных режимах работы энергоблока, связанных с обесточиванием блока, сейсмическими воздействиями и нарушением нормальной подачи питательной воды в парогенераторы.

В стационарном режиме работы блока система эксплуатируется в режиме ожидания или режиме опробования канала системы. При этом оборудование и арматура находятся в исправном состоянии, электрические схемы собраны, в рабочем состоянии находятся система КИП и сигнализации. К насосным агрегатам подведена охлаждающая вода. Баки заполнены обессоленной водой до номинального уровня. Система аварийной подачи пита-

тельной воды в парогенераторы должна быть введена в режим ожидания на этапе подготовки РУ к пуску при повышении средней температуры теплоносителя в I контуре до 150 С. В случае необходимости аварийные питательные насосы (АПЭН) включаются в работу по программе ступенчатого пуска или по импульсу понижения уровня питательной воды на определенную величину в любом из парогенераторов. Одновременно с подачей импульса на запуск аварийных питательных насосов включаются в работу регуляторы, установленные на напорных трубопроводах подачи питательной воды в парогенераторы. В аварийном режиме, насосы ТХ подают питательную воду не менее чем в три парогенератора с учетом разрыва напорного трубопровода одного из насосов. Продолжительность работы системы ТХ в аварийных режимах и количество работающих каналов системы определяются конкретной ситуацией на блоке.

Система состоит из трех независимых каналов. Каждый канал обеспечивает подачу химобесоленной воды не менее чем в два парогенератора. Каждый АПЭН подключен к своему баку ХОВ. Однако, для возможности работы насоса из смежных баков все три бака соединены между собой трубопроводами с запорной арматурой. Два аварийных питательных насоса включены в схему таким образом, что каждый из этих насосов снабжает водой по два парогенератора. Третий аварийный питательный насос подает воду во все четыре парогенератора, причем на подводе к двум парогенераторам арматура открыта (“не отключенные” парогенераторы - ПГ-2 и ПГ-4), а к двум другим парогенераторам арматура закрыта, (“отключенные” парогенераторы - ПГ-1 и ПГ-3). На каждом трубопроводе подачи питательной воды к парогенератору установлены регулирующий и обратный клапаны. Регулирующие клапаны перед ПГ-1 и перед ПГ-3 управляются регулятором уровня воды. Регулирующие клапаны перед ПГ-4 и перед ПГ-2 управляются либо регулятором уровня воды, либо регулятором расхода воды в зависимости от уровня в ПГ и расхода на него. Подшипники насосов и воздухоохладители двигателя охлаждаются технической водой группы А.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему ТХ и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### **Библиографический список**

1. Инструкция по эксплуатации системы аварийной подпитки парогенераторов. 03.ТХ.ПЭ.0012.44 Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы аварийной подпитки парогенераторов. 03.ТХ.ЭС.0025.44. Калининская АЭС.

*Железов Н.С., Разуваев Н.О., студ.;  
рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000 С ИСХОДНЫМИ СОБЫТИЯМИ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой.

Надежность, безопасность и эффективность работы АЭС во многом определяется квалификацией эксплуатационного персонала. Главная цель эксплуатационной подготовки и повышения квалификации специалистов – выработка у них умения быстро принимать решения в самых разнообразных ситуациях, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации ядерного энергоблока, включая аварийные. Разумеется, при этом речи не может идти о преднамеренном создании аварийных ситуаций на действующем оборудовании АЭС. Основная роль в достижении поставленной цели принадлежит инновационным формам обучения, среди которых важную роль играет тренажерная подготовка [1,2].

Для реализации поставленной задачи разработаны лабораторный стенд на базе ПМТ и ФАТ энергоблока ВВЭР-1000, сценарий, методика проведения экспериментальных исследований, а также методика обработки данных, полученных в результате проведения экспериментальных исследований; учебно-методическое обеспечение (УМО) и проведены экспериментальные исследования на ФАТ и ПМТ энергоблока ВВЭР-1000 с последующим теоретическим анализом различных аварийных режимов работы с исходными событиями в первом контуре.

Проведены экспериментальные исследования следующих аварийных режимов работы энергоблока ВВЭР-1000 с исходным событием в первом контуре:

1. Разрыв «холодного» трубопровода первой циркуляционной петли;

2. Разрыв «холодного» трубопровода второй циркуляционной петли;
3. Разрыв «холодного» трубопровода третьей циркуляционной петли;
4. Разрыв «холодного» трубопровода четвертой циркуляционной петли;
5. Разрыв «горячего» трубопровода первой циркуляционной петли;
6. Разрыв «горячего» трубопровода второй циркуляционной петли;
7. Разрыв «горячего» трубопровода третьей циркуляционной петли;
8. Разрыв «горячего» трубопровода четвертой циркуляционной петли;
9. Разрыв присоединительного трубопровода компенсатора давления;
10. Разрыв «холодного» коллектора ПГ-1;
11. Разрыв «холодного» коллектора ПГ-2;
12. Разрыв «холодного» коллектора ПГ-3;
13. Разрыв «холодного» коллектора ПГ-4;
14. Отключение ГЦН-1;
15. Отключение ГЦН-2;
16. Отключение ГЦН-3;
17. Отключение ГЦН-4;

В качестве примера, на рис.1 приведены графики изменение во времени нейтронной, тепловой и электрической мощностей, а также положения стержней СУЗ при разрыве «холодного» трубопровода первой циркуляционной петли. Заинтересованные лица при необходимости могут обратиться за соответствующими разъяснениями и дополнительной информацией к авторам статьи.

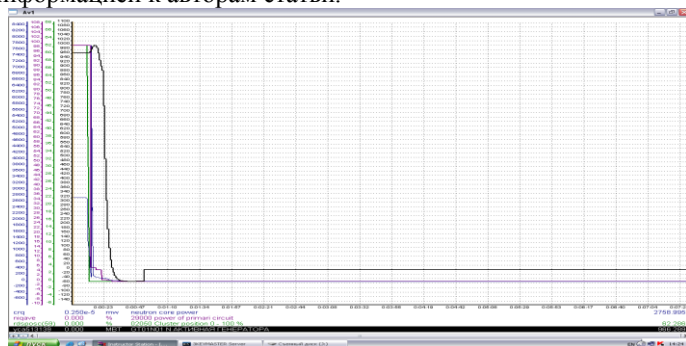


Рис. 1. Изменение во времени нейтронной, тепловой и электрической мощностей, а также положения стержней СУЗ

#### Библиографический список

1. Иванов В.А. Эксплуатация АЭС. Атомэнергоиздат, С.-П., 1994 г.
2. Щербнев В.С, Булавкин Г.В. и др. Разработка компьютерных тренажерных систем по эксплуатации оборудования блока АЭС. Комплексные инновационные проекты (работы) по развитию структурных подразделений ИГЭУ в 2009г.:Сб. отчетов ИГЭУ – Иваново. 2010 г.



*А.В. Норкин, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕПАРАТОРОВ- ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ БЛОКА С РЕАКТОРОМ ВВЭР-440**

Современное развитие энергетики требует усовершенствования конструкций основного оборудования атомных электростанций, а также более эффективной эксплуатации элементов паротурбинных установок.

Энергетические установки с водоохлаждаемыми реакторами типа ВВЭР работают с турбинами на насыщенном паре. Процессы расширения в таких агрегатах, как правило, начинаются с линии насыщения и лежат в двухфазной области состояний. Наличие влаги в проточной части турбоустановок существенно снижает внутренний КПД турбины из-за потерь от влажности и является причиной эрозионного разрушения лопаточного аппарата, а при высоких давлениях – и неподвижных частей турбин.

В турбинах насыщенного пара в ступенях низкого, а нередко и среднего давления, высокая влажность обуславливает снижение внутреннего КПД и способствует развитию эрозии лопаточного аппарата турбины. Для снижения отрицательного воздействия влаги предусмотрена система внешней сепарации в сочетании с промежуточным перегревом пара, что дополнительно повышает экономичность и надежность последующих ступеней турбины.

Основными причинами повреждения СПП являются:

- неравномерное распределение влаги по сечению трубопровода влажного пара от ЦВД и во входной камере СПП, что приводит к перегрузке отдельных сепарационных блоков;
- разница по давлению рабочей среды в параллельно работающих СПП;
- превышение проектных значений влажности пара и увеличение его объемных расходов и как следствие пронос влаги на теплообменную поверхность через поврежденные блоки;
- низкая надежность работы пароперегревательной части СПП из-за повышенного эрозионного воздействия влаги, содержащейся в паре.

Для снижения эрозионно-коррозионного износа трубопроводов, ресиверов систем ПСПП и регенерации турбоустановок, уменьшения степени неравномерности распределения влаги по сепарационным блокам СПП, а также с целью исключения проскока влаги в паропере-

гревательные поверхности СПП разработана система предварительной внутрисервизной сепарации пара, которая позволяет обеспечить защиту СПП и подводящих ресиверов АЭС.

Данная система состоит из последовательно расположенных по ходу пара плёночного и двух лопаточных (коленных) сепараторов, установленных в коленах ресиверов. Пленочные сепараторы предназначены для удаления влаги из пристенного слоя, а лопаточные сепараторы – из центра потока влажного пара. Первый из лопаточных сепараторов расположен в колене с нисходящим потоком пара, а второй лопаточный сепаратор – в колене с восходящим потоком пара.

Эффективность сепарации влаги коленными сепараторами составляет 75%, а эффективность всей системы предварительной сепарации – 90%. В результате температура промперегрева повышается более чем на 10 градусов и превышает номинальное значение на 3 – 4 градуса (для СПП-220 номинальное значение).

Поэтому ЦНД будет эксплуатироваться в условиях, соответствующих расчетным и нагрузка на лопаточный аппарат проточной части турбины снижается. Расчеты показали, что в результате проведенных мероприятий мощность турбоагрегата возросла на 3,3 МВт.

*А.В. Сметанин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ МАСЛОАППАРАТНЫХ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и Полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разработанные компьютерные обучающие системы (КОС) предназначены для получения знаний и умений по функционированию технологических систем маслоаппаратной блочной насосной станции

(UR) и маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока ВВЭР-1000 (UT).

Каждый КОС состоит из компьютерного учебного пособия (КУП), представляющего собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и локального ситуационного тренажера по эксплуатации системы (ЛСТ), представляющего собой «блок навыков и умений».

КУП разработаны на основании первоисточников [1,2,3,4] и содержат вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия технологических систем UR и UT, а также их эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к работе, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В КУП приведены указания мер безопасности для персонала, связанного с обслуживанием, наладкой, испытанием систем; присутствуют случаи немедленного останова эксплуатируемого оборудования, а также основные неисправности и методы их устранения. КУП разработаны таким образом, чтобы дать необходимую информацию о работе систем в целом с описанием отдельных узлов и их взаимодействия. Они могут быть использованы при подготовке на должность и поддержании квалификации разных категорий персонала, сталкивающихся при исполнении своих служебных обязанностей с эксплуатацией или обслуживанием маслоаппаратных.

ЛСТ также разработаны в полном соответствии первоисточникам [1,2,3,4] и позволяют реализовать следующие цели

1. Получение навыков чтения схем технологических систем

2. Развитие способностей оператора, а именно:

оценивать сложившуюся ситуацию, прогнозировать ее дальнейший ход представлять весь спектр возможных решений, оценивать возможные последствия каждого решения, принимать итоговое оптимальное, решение, реализовывать принятое решение

3. Осознание причинно-следственной связи действий оператора с результатом этих действий

4. Ознакомление с системами контроля и управления, а также с режимами работы маслоаппаратной

Маслоаппаратная блочной насосной станции предназначена для приема чистого масла из цистерны в бак запаса чистого масла, подачи масла из бака запаса чистого масла в маслованны циркуляционных насосов и насосов технической воды неответственных потребителей, сбора и подачи его в бак отработанного масла и откачки в автоцистерну[1].

Маслоаппаратная огнестойкого масла предназначена для приема чистого масла из цистерн и подачи его на склад (баки запаса чистого

масла или оперативные баки чистого масла), подачи масла из баков запаса или оперативных баков чистого масла в маслосистему турбогенератора, сбора и очистки (регенерации) грязного масла и подачи его (после очистки) в бак регенерированного масла, в машзал или (неочищенного масла) в цистерну грязного масла для отправки на очистку. Маслоаппаратная имеет два контура: контур чистого масла и контур грязного масла. Каждый контур имеет свою отдельную схему и оборудование, за исключением сепаратора, который является общим для двух контуров [3].

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать технологические системы UR, UT и их компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации систем в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации маслоаппаратной БНС №3. 03.UR.ПЭ. 0035.44. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы технологической системы маслоаппаратной БНС №3. 03.UR.ЭС.0044.44. – Калининская АЭС.
3. Инструкция по эксплуатации маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока №3. 03.UT.ПЭ. 0034.44. – Калининская АЭС.
4. Эксплуатационные схемы технологической системы маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока №3. 03.UT.ЭС.0038.44. – Калининская АЭС.

*М.А. Вольман, асп.; рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СИМУЛЯЦИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ИМИТАТОРЕ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

В учебно-тренировочных центрах атомных станций нашей страны создан современный парк программно-технических средств обучения, включая полномасштабные, аналитические и многофункциональные тренажеры. Постепенно тренажерные комплексы внедряются и в вузовскую подготовку, что требует разработки и внедрения специальных методик.

В данной работе использованы компьютерный имитатор и полномасштабный тренажер энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000, разработчиком программного обеспечения которых ООО «Вестерн Сер-

висез» [1]. В объем моделирования имитаторов включены стандартные отказы по типовому оборудованию, такому как регуляторы и регулирующие клапаны, насосы, вентиляторы, датчики, арматура, дистанционно управляемые выключатели, обратные и предохранительные клапаны. Каждый вид стандартного оборудования имеет свой набор характерных неисправностей, а также используются системные отказы. Тем самым возможна симуляция широкого спектра режимов с нарушением нормальной эксплуатации, в том числе связанных с отказами оборудования и самих защит. Разработаны и реализованы методики симуляции действия защит и блокировок.

В качестве учебной задачи разработана методика симуляции на имитаторе нормального (не аварийного) останова энергоблока с выводом реакторной установки в «горячее» состояние и пуска из достигнутого состояния с выводом реакторной установки на энергетический уровень мощности. Эти режимы предполагают взаимодействие моделируемого оборудования энергоблока в широкой совокупности физических процессов, которые в нем протекают.

Поскольку применяемые в работе компьютерный имитатор и полномасштабный тренажер энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 имеют идентичное программное обеспечение, все разработанные методики симуляции технологических режимов являются для них универсальными. Использование в учебном процессе полномасштабного тренажера, в свою очередь, рассматривается как эффективное средство личностного становления будущего специалиста и инструментом развития профессионально важных качеств.

Продление сроков эксплуатации объектов атомной энергетики и ширококомасштабные планы нашей страны по освоению новых мощностей, проблема обеспечения безопасности этих объектов определяют всевозрастающую потребность в высококвалифицированном персонале. Разработанные методики рассматриваются как часть единого обучающего комплекса, позволяющего интенсифицировать процесс вузовской подготовки специалистов для АЭС.

#### Библиографический список

1. Western Services Corporation, <http://www.ws-corp.com>.

*А.Е. Шуняев, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БОРНОГО КОНЦЕНТРАТА ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы борного концентрата (ТВ10) энергоблока АЭС с ВВЭР-1000.

Система борного концентрата ЗТВ10 предназначена для создания запаса и хранения борного концентрата в баках ЗТВ10В01,02; подачи его в первый контур насосами ЗТВ10D02-04 при борном регулировании в режиме нормальной эксплуатации и аварийных режимах энергоблока; подачи борного концентрата для очистки на СВО-6 насосом ЗТВ10D01; а также для подачи борного концентрата в баки ЗТQ13,23,33,14,24,34В01 для оперативной корректировки уровня РБК в них.

В составе системы борного концентрата имеется следующее технологическое оборудование: насос борного концентрата ЗТВ10D01; насосы борного концентрата ЗТВ10D02,03,04; баки борного концентрата ЗТВ10В01,02; монжюс борсодержащей воды ЗТВ10В03; трубопроводы, арматура, КИП.

При разработке КОС по технологической системе борного концентрата (ТВ10) энергоблока ВВЭР-1000 предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и уме-

ний», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы TS20, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему ТВ10 и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы борного концентрата. 03.ТВ.ПЭ.0020.42. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы аварийной подпитки парогенераторов. 03.ТВ.ЭС.0013.42. – Калининская АЭС.

*Н.М. Максимов, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РЕАКТОРЫ АЭС С МИКРОТВЭЛАМИ

По терминологии выдающегося западного историка Тойнби атомная энергетика получила «вызов судьбы» в виде Чернобыльской катастрофы и должна ответить. В качестве ответа на этот вызов в России были разработаны новые проекты АЭС с реакторами типа ВВЭР повышенной безопасности, в которых по проектным оценкам вероятность тяжелой аварии составляла меньше  $10^{-6}$ . Однако, даже столь малые значения не могут быть убедительны для широкой общественности, так как тяжелые аварии проходят по непроектным сценариям. Реальным ответом на этот вызов является новая разработка РНЦ «КИ» и ВНИИАМ – реакторов типа ВВЭР и РБМК для АЭС с активной зоной на основе микротвэлов (МТ).

Основным преимуществом таких реакторов является то, что при любых тяжелых авариях и при любых диверсиях, включая падение тяжелого самолета, радиационные последствия очень малы.

Применения микротвэлов (МТ) в реакторах современных АЭС дает следующие преимущества:

- радикальное повышение радиационной безопасности современных АЭС до детерминистского уровня, исключая существенный выход продуктов деления в любых тяжелых авариях, включая разру-

шение корпуса реактора, падение тяжелого самолета, диверсии, преднамеренные действия враждебного персонала и другие непроектные сценарии тяжелых аварий;

- возможность применения тепловыделяющих сборок с МТ во всех работающих реакторах типа ВВЭР и РБМК без изменения их конструкции с постепенной заменой сборок традиционной конструкции;

- значительное улучшение технико-экономических характеристик АЭС за счет снижения стоимости топливного цикла;

- радикальное улучшение технико-экономических характеристик для новых АЭС за счет снижения капитальных затрат и непрерывной перегрузки топлива;

- снятие ограничений со стороны активной зоны при работе АЭС в полупиковом и даже при работе в пиковом режиме;

- продление срока службы АЭС первого поколения без изменения их конструкции и одновременно радикальное повышение их безопасности до уровня выше самых современных АЭС традиционной конструкции.

В качестве проектных основ для тепловыделяющей сборки ТВС с МТ принято, что металлоконструкция ТВС обеспечивает:

- размещение МТ в ТВС;

- организацию поперечного движения теплоносителя относительно слоя МТ с приемлемым гидравлическим сопротивлением;

- приемлемую неравномерность подогрева теплоносителя на выходе засыпки МТ;

- размещение направляющих труб для регулирующих стержней и выгорающего поглотителя в количестве, необходимом для обеспечения требуемых правилами ядерной безопасности нейтронно-физических характеристик и заявляемых характеристик топливного цикла;

- неподвижность МТ в ТВС под действием теплоносителя;

- исключение взаимодействия конструкционных материалов ТВС, работающих в контакте с МТ, с их наружным покрытием в нормальных режимах в течение не менее 20000 часов и в аварийных режимах в течение нескольких часов;

- сохранение геометрии ТВС и активной зоны в аварийных режимах;

- исключение химических реакций с интенсивным выделением водорода в аварийных режимах;

- сохранение свойств материалов ТВС в нейтронном потоке.



Применение МТ в действующих реакторах ВВЭР-1000 радикально повышают безопасность АЭС и создает необходимые условия для широкомасштабного развития атомной энергетики.

Особенно перспективно применение МТ в реакторах первого поколения. Это позволит повысить безопасность до уровня выше современных АЭС. Одновременно применение МТ позволит продлить срок службы АЭС первого поколения без изменения конструкции АЭС.

Разработка новых АЭС с МТ позволит радикально улучшить технико-экономические характеристики АЭС: уменьшить капитальные затраты, улучшить характеристики топливного цикла, увеличить коэффициент использования мощности.

*С.А. Щепин, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СДУВОВ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000**

Работа выполнена в рамках программы освоения и внедрения в учебный процесс Функционального аналитического тренажера (ФАТ) и полномасштабного тренажера (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 НОЦ ИГЭУ. Она посвящена актуальной проблеме интенсификации и повышения мотивации обучения и придания ему практической направленности. Актуальность данной работы определяется тем, что уровень знаний по технологическим системам АЭС является определяющим фактором в обучении студентов, а так же в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников кафедры АЭС ИГЭУ, что убедительно подтверждено практикой

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы очистки технологических сдувов энергоблока ВВЭР-1000 (система TS20).

Система очистки технологических сдувов или система спецгазоочистки предназначена для очистки технологических сдувов перед выбросом их в атмосферу от радиоактивных изотопов йода, ксенона, РБГ, выделяющихся во всех режимах эксплуатации энергоблока.

Система спецгазоочистки состоит из трёх независимых ниток 3TS21(22,23), каждая из которых может эксплуатироваться в режиме: очистки газов системы дожигания водорода; очистки сдувов баков

"грязного" конденсата ЗТВ30В01,02 и сдувок бака оргпротечек.

Каждая нитка состоит из: двух теплообменников TS21(22,23)W01,02; самоочищающегося фильтра TS21(22,23)N01; двух цеолитовых фильтров TS21(22,23)N02,03; четырех фильтров-адсорберов TS21(22,23)N04, 05,06,07; двух газодувок ЗТС21(22,23)D01,02; трубопроводов, арматуры, КИП. Кроме того, каждая нитка имеет собственную систему регенерации цеолитового фильтра TS31(32,33), состоящую из: двух электронагревателей TS31(32,33)W02,03; теплообменника TS31(32,33)W01.

В нормальном режиме две группы находятся в постоянной работе, третья - в резерве (в ремонте). Основная рабочая группа TS21(22,23) работает в режиме очистки газов, поступающих из системы дожигания водорода. Вспомогательная рабочая группа TS22(23,21) работает в режиме очистки сдувок, поступающих из БГК ЗТВ30В01,02, бака оргпротечек, теплообменника оргпротечек и барботера. В период ППР имеется возможность подключения сдувок из гидроместностей.

При разработке КОС по технологической системе очистки технологических сдувок энергоблока ВВЭР-1000 предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) и локального ситуационного тренажера (ЛСТ) на основании [1,2]. КУП представляет собой обучающую часть с тестовой частью контроля знаний и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний. ЛСТ представляет собой «блок навыков и умений», где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт. В данном материале наглядно представлена структура и принцип действия системы TS20, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы.

После изучения материала при помощи КУП и ЛСТ обучаемый должен быть способен описать систему TS20 и её компоненты в соответствии с нормативной и эксплуатационной документацией, а также получить представление об эксплуатации системы в основных нормальных режимах работы.

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы очистки технологических сдувок. 03.TS.ПЭ. 0026.42. – Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы системы очистки технологических сдувок. 03.TS.ЭС. 0019.42. – Калининская АЭС.

*И.М. Соловьев, студ.; рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕАКТОР-СТЕЛЛАТОР WENDELSTEIN 7-Х ПРОТО ТИП ТЕРМОЯДЕРНОГО ГЕАКТОРА БУДУЩЕГО**

В настоящее время, более 85% энергии производимой человеком получается при сжигании органических топлив - угля, нефти и природного газа. В обозримом будущем традиционный источник энергии - органические топлива - придется заменить на альтернативный.

Основной и единственный кандидат для базовой энергетики - это ядерная энергия. В настоящее время, для получения энергии освоены лишь ядерные реакции деления, которые используются на современных атомных электростанциях. Управляемый термоядерный синтез пока является лишь потенциальным кандидатом для базовой энергетики.

Основное и принципиальное отличие заключается в отсутствии долгоживущих радиоактивных отходов, которые характерны для ядерных реакторов деления. Кроме низкой радиоактивности, термоядерная энергетика имеет огромные, практически неисчерпаемые запасы топлива и других необходимых материалов, достаточных для производства энергии в течении тысяч лет.

Стеллатор, как и ТОКАМАК - это магнитная ловушка с замкнутыми магнитными поверхностями. В отличие от ТОКАМАКА, тороидальное магнитное поле, образующее магнитные поверхности, создается в стеллаторе с помощью внешних витков, а не током, протекающим по плазме.

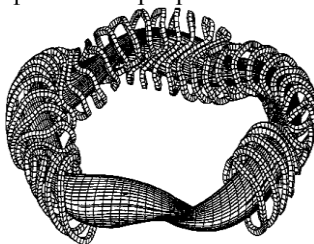
Стеллатор имеет большое преимущество перед ТОКАМАКОМ - это стационарная машина, которая не требует сложных методов поддержания плазменного тока для ее стационарной работы. В то же время, в отличии от ТОКАМАКА, стеллатор это принципиально аксиально-несимметричная ловушка с магнитной осью представляющей собой трехмерную кривую и переменным, в тороидальном направлении, сечением плазмы. Во всех стеллаторах, разработанных до начала XXI века, конфигурации вращательного преобразования были аналогичны друг другу. Существенный прогресс в развитии стеллаторов был достигнут в начале XXI века в связи с мощным развитием компьютерных технологий и, в частности, компьютерных графических программ.

С их помощью была оптимизирована магнитная система стеллатора. В результате появилась совершенно новая конфигурация враща-

тельного преобразования — в новой конфигурации магнитное поле создавалось исключительно одной обмоткой, состоящей из модульных трехмерных.

тороидальных катушек, сложно искривленная форма которых была рассчитана с помощью компьютерных графических программ

В отличие от ТОКАМАКА, стелларатор не имеет азимутальной симметрии – форма магнитной поверхности напоминает перекрученную не-сколько раз ленту Мебиуса.



Специалистам удалось рассчитать и создать конструкцию стелларатор-реактора Wendelstein 7-X. Проведенные тесты показали правильность некоторых использованных технологий, которые будут поддерживать положение плазменного шнура с субмиллиметровой точностью. В этих тестах вместо плазмы в камеру реактора был введен луч электронов, который, удерживаемый магнитным полем, двигался вдоль осевой линии камеры реактора, а столкновения электронов этого луча со свободными электронами остаточного газа в камере создавали свечение, по которому можно было видеть все происходящее.

Wendelstein 7-X — экспериментальный термоядерный реактор типа стелларатор. Строительство стелларатора осуществлялось Институтом физики плазмы им. Макса Планка с 2005 по 2014 годы. 10 декабря 2015 года получена тестовая плазма.

Целью экспериментального реактора является исследование и совершенствование технических компонентов и технологий, с целью последующего строительства промышленного термоядерного реактора типа стелларатор. Первые эксперименты прошли с гелиевой плазмой, удерживаемой в течение 1—2 секунд. Такое решение связано с тем, что гелий легче ионизируется (по сравнению с водородом). Начиная с конца января 2016 года, на стеллараторе планируется начало эксперимента с водородной плазмой.

На основе работы стелларатора Wendelstein 7-X предстоит понять, имеет ли будущий промышленный термоядерный реактор экономическую целесообразность. Ближайшая цель - увеличить мощность, удлинить время запусков, провести множество исследований. Это постоянная, непрерывающаяся работа, которую будут останавливать только периоды усовершенствования самой установки. Эти периоды продлятся до 2020 года - будут встроены дополнительные узлы непосредственно внутрь реактора, в камеру, где находится плазма.

*И.Н. Виниченко, Б.А. Гришко, Д.А. Демидов, студ.;  
рук. М.А. Вольман, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ПЕРВОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

Качественная подготовка специалистов АЭС требует изучения ими систем и вспомогательного оборудования ядерных энергоустановок на уровне, обеспечивающем понимание происходящих в них физических процессов. Достижение этой цели возможно за счет создания виртуальных моделей технологических систем, последующей разработки и внедрения в учебный процесс методик их исследования.

В работе применен инструмент компьютерного моделирования 3KeyMaster, представляющий собой многоцелевую среду для разработки, отладки, исполнения, тестирования, интеграции и конечной эксплуатации виртуальных моделей. Программный пакет 3KeyMaster™ разработан компанией Western Services Corporation [1]. Инструменты моделирования, лежащие в основе этого продукта, построены на принципах объектно-ориентированной технологии и открытой архитектуры. Они были оценены и одобрены ведущими инженерными компаниями и уже внедрены в их инженерную практику.

Созданы виртуальные модели ряда технологических систем первого контура энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000: системы компенсации давления, системы продувки-подпитки первого контура, системы организованных протечек, системы дистиллята, борного концентрата, боросодержащей воды и др. Разработанные виртуальные модели просты и наглядны, но, в то же время, содержат всю необходимую информацию о системах, достоверно повторяют их поведение во всех режимах.

Внедрение в образовательный процесс инструментов виртуального моделирования и создаваемых с их помощью компьютерных моделей позволяет удовлетворять возрастающие требования к уровню подготовки специалистов для эксплуатации блоков АЭС.

### **Библиографический список**

1. Western Services Corporation, <http://www.ws-corp.com>.

## СЕКЦИЯ 9

# ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

*Председатель – к.т.н., доц. В.Ю. Пронин*

*Секретарь – магистрант И.А. Скворцов*

*М.С. Хамидуллина, асп.; И.Р. Додов, маг.;*

*рук. Н.И. Москаленко, д.ф.-м.н., проф.*

*(КГЭУ, г. Казань)*

## РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН В МНОГОКАМЕРНЫХ ТОПКАХ И ТЕПЛООБМЕННИКАХ

В настоящей работе выполнены расчеты радиационного теплообмена в топках и теплообменниках энергетических установок с учетом равновесных и неравновесных процессов излучения продуктов сгорания энергетических установок. Многокамерная конструкция топок и теплообменников позволяет повысить эффективность радиационного теплообмена за счет увеличения скорости радиационного выхолаживания, повысить паропроизводительность котла в 2÷3 раза и повысить КПД котла на 2÷3 % [1]. Алгоритмы для выполнения расчетов радиационного теплообмена представлены в [1]. Расчеты выполняются в два этапа. Сначала выполняется расчет температурного поля для заданной конструкции камеры сгорания методом временных итерационных процедур с нормировкой на изменение энтальпии продуктов сгорания. Вторым этапом выполняются расчеты распределения потоков теплового излучения по тепловоспринимающим поверхностям топки или радиационного теплообменника по известному полю температуры, концентрации оптически активных ингредиентов, эффективному давлению в топке.

Расчеты выполняются в следующей последовательности. По выбранной многокамерной конструкции, паропроизводительности котла, температуре пара  $T_p$ , давлению  $T_{пп}$  перегретого пара, составу топлива определяется температура уходящих газов, потери тепла, КПД котла. На основе уравнения баланса энергии по КПД котла определяется топливопотребление котла, а по химическому составу топлива определяются рабочие массы различных ингредиентов топлива. Далее произво-

дится расчет масс ингредиентов продуктов сгорания и из уравнения Бойля-Мариотты определяются объемы ингредиентов продуктов сгорания, теоретически необходимый объем кислорода для полного сжигания топлива. По концентрации кислорода в атмосфере определяется теоретически-необходимый объем воздуха для полного сжигания топлива, а по значению коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  – реальный объем воздуха, потребляемый котлом. Далее проводится расчет энтальпии продуктов сгорания в зависимости от температуры и из уравнения энергетического баланса определяется адиабатическая температура – начальная температура продуктов сгорания в топке или теплообменнике [2].

Наиболее эффективны топки многокамерной конструкции для сжигания газового топлива с подовым горелочным устройством с восходящим движением продуктов сгорания топке (радиационном теплообменнике) и вертикальным развитием пламени подовых многокамерных горелок, формирующих единые для всех камер многокамерной топки горелочное устройство матричного типа с общим газовым коллектором для подачи газообразного топлива и коллектора для подачи окислителя (воздуха или кислорода). Горелочное устройство целесообразно выполнять с радиатором для охлаждения его водой по независимому циркуляционному контуру.

Многокамерные топки перспективно использовать и для сжигания твёрдых топлив. При этом сжигание топлива производится в циклонных предтопках, позволяющих очистить продукты сгорания от зольной составляющей. Сама камера в этом случае является радиационным теплообменником, которая для повышения эффективности радиационного выхолаживания выполняется многокамерной. Согласно разработанной математической модели радиационного теплообмена радиационное выхолаживание в топке определяется скоростью радиационного

выхолаживания  $\frac{\partial T}{\partial t}$  ( $t$  – время) и временем пребывания продуктов сгорания в топке, так что температура на выходе из топки определяется соотношением

$$T_{\text{вых}} = T_a - \int_0^H \frac{\partial T(z)}{\partial t} \cdot \frac{dz}{V(z)},$$

где  $T_a$  – адиабатическая температура продуктов сгорания, зависящая от координат  $z$ ,  $V(z)$  – скорость радиационного выхолаживания, изменяющаяся в связи с изменением температуры  $T$  по ходу движения продуктов сгорания. В докладе проводятся детальные расчеты радиационного теплообмена для котла с циклонными предтопками для сжигания твёрдого топлива и для многокамерной топки цилиндрической формы

для газового топлива при компоновке парового котла с турбогенератором.

#### Библиографический список

1. Москаленко Н.И., Мирумянц С.О., Локтев Н.Ф., Мисбахов Р.Ш. Равновесные и неравновесные процессы излучения: Высокотемпературные среды, радиационный теплообмен. Казань: Изд. КГЭУ 2014. 267с.
2. Москаленко Н.И. и др. Спектральная установка для исследований характеристик молекулярного поглощения в высокотемпературных средах. // Журнал прикладной спектроскопии. Т.32. №2. с.377-381.

*А.С. Ракитин, асп.;*

*рук. Л.С. Флейшман, к.ф.-м.н., вед.н.с.*

*(«Энергетический институт*

*им. Г.М. Кржижановского», г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ТОКОВВОДОВ ВТСП ТРАНСФОРМАТОРА**

Для поддержания работоспособности электрооборудования на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) необходимо применять системы криообеспечения, и, как следствие, криогенные токовводы. В [1] показано, что токовводы могут вносить значительный вклад в общие потери системы криообеспечения.

Неохлаждаемые токовводы разрабатывались в рамках контракта по производству опытного образца трехфазного ВТСП трансформатора в ОАО «ЭНИН». Обозначены основные проблемы, возникающие при разработке криогенных токовводов ВТСП трансформатора, рассмотрено современное состояние теории неохлаждаемых токовводов, а также применен простейший метод численного анализа их теплового состояния.

Теория неохлаждаемого токоввода [2], являясь достаточно простой, основывается на анализе одномерного уравнения теплопроводности с граничными условиями первого рода, откуда следует, что минимальный теплоприток для заданного материала достигается при определенном отношении площади поперечного сечения токоввода к его длине. Сложности возникают при попытках учесть конструкционные особенности токоввода, нелинейность, специфику граничных условий, анализировать нестационарные режимы работы. Примерами таких попыток могут служить работы [3] и [4]. Очевидно, применение численных методов позволяет решить подобную задачу наиболее просто и эффективно.



Для численного анализа теплового состояния криогенного токоввода на с++ для компилятора g++ v 4.6 была составлена программа 1D, позволяющая оценивать параметры токоввода с учетом нелинейности коэффициентов и сложных граничных условий третьего рода. В основе вычислительного алгоритма программы лежит метод прогонки. Также программа может учитывать переменность поперечного сечения токоввода, дополнительное сопротивление теплообмену.

Токовводы ВТСП трансформатора можно разделить на токовводы НН (низкое напряжение, высокий ток) и токовводы ВН (высокое напряжение, низкий ток). Основная доля потерь приходится на токовводы НН.

В качестве материала токовводов применялся провод щеточный (ПЩ) из медных проволок. При этом пористость проводящего материала токоввода будет находиться на уровне 0.5. Токоввод ВН помещается в нетонкостенную фторопластовую трубку для электрической изоляции. Токоввод НН у основания пропитывается криогенным компаундом (STYCAST), по длине оборачивается полиимидной или полиэфирной липкой лентой, которая также позволяет придать ПЩ необходимую форму. Для токовводов НН необходимо обеспечить защиту от проникновения воды или льда в область криогенной жидкости и теплоизоляцию выше крышки криостата. Для токовводов ВН выше крышки криостата необходимо обеспечить теплоизоляцию, а также электрическую изоляцию в виде «силиконовой юбки».

При проектировании токовводов следует учесть возможность возникновения скин-эффекта, глубина его поверхностного слоя снижается при приближении к криогенным температурам, достигая для меди 3мм при 78К и частоте тока 50 Гц. Изготовление токоввода в виде ПЩ или полого цилиндра позволяет ослабить негативное воздействие скин-эффекта.

Сборка ВТСП трансформатора сопровождается плотным креплением контактных площадок токовводов к контактным площадкам вводов, жестко прикрепленных к раме трансформатора. При сборке ВТСП трансформатора необходимо учесть термоусадку ПЩ токоввода ВН, оставив свободную часть токоввода изогнутой потому, что иначе может произойти разрыв электрического соединения между токовводом и ВТСП обмоткой.

В результате проведенных работ конструкция токоввода была оптимизирована с учетом её специфических особенностей и сложных граничных условий, были получены характеристики захлаживания, отогрева и остывания токоввода. Результаты расчетов были применены

ны для изготовления криогенных тоководов трехфазного ВТСП трансформатора.

#### Библиографический список

1. **Matasaka Iwakuma**, et al., Development of a 3φ-66/6.9 kV-2 MVA REBCO Superconducting Transformer, Trans. Appl. Supercond., vol. 25, no. 3, Jun. 2015.
2. **Глебов И.А., Шахтарин В.Н., Антонов Ю.В.** Проблемы ввода тока в сверхпроводниковые устройства, Л.: Наука, 1985. - 208с.
3. **Chang H.-M.** et al. Optimization of current leads cooled by natural convection of vapor, Advances in Cryogenic Engineering: Trans. of the CEC, Vol. 49, pp. 944-951, 2004.
4. **Popa I., Stefanescu F.** Numerical modeling of the isolated current leads for cryogenic applications, Proceedings of ICTAMI, pp. 396-408, 2004.

*А. В. Вараксин студ., рук. Р.Н. Габитов, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЛОЯ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В настоящее время существует большое количество различных методов и методик для определения эффективных теплофизических характеристик пористых тел. Что касается твердых бытовых отходов, то в литературе имеются лишь разрозненные данные, полученные на основе экспериментальных исследований теплофизических свойств некоторых отдельно взятых компонентов ТБО.

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение теплофизических характеристик слоя ТБО.

Процесс тепломассопереноса в общем случае характеризуется непостоянством физических параметров: температуры и влагосодержания. С целью выявления зависимостей коэффициентов переноса от температуры и влагосодержания материала поставлен и проведен ряд опытов. При этом нами использовался зональный метод, который обеспечивает точность определения значений теплофизических коэффициентов.

Результаты экспериментов представлены в виде графика на рисунке 1.

В результате проведенных исследований получены зависимости для расчета коэффициента теплопроводности и температуропроводности от влажности материала. Получены экспериментальные кривые изменения коэффициента теплоотдачи слоя бытовых отходов при его сушке.

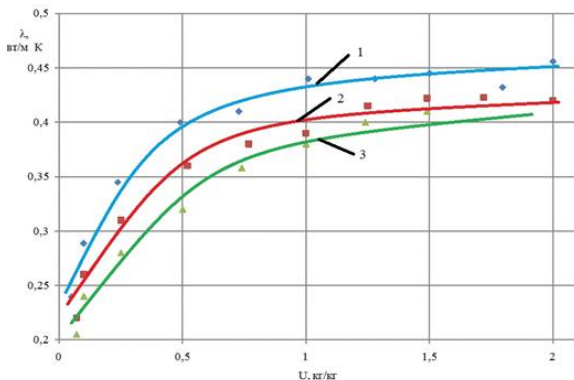


Рисунок 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от влагосодержания в процессе сушки при различных температурах теплоносителя (1- 192°C; 2- 157°C; 3- 132°C).

Вывод: определены экспериментально коэффициенты теплоотдачи слоя бытовых отходов при сушке воздухом.

*А.В. Панкратова, Н.М. Забавина, студ.;*  
*рук. О.Ю. Нагорная, ст. преп.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ПРИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ЖИЛОГО ДОМА

Необходимость рационального расхода энергии характерна для нашей повседневной жизни – дома, в учреждениях и на производстве. Одним из устройств, способных существенно сэкономить энергию, является тепловой насос. Повышение потенциала (температуры) низкопотенциального тепла позволяет привлечь «новые» источники, такие как: окружающий воздух, грунтовые воды, водоемы, а также сбросное тепло, которое нельзя было использовать из-за его низкой температуры. Тепловой насос существенно расширяет возможности применения низкопотенциальной энергии за счет затраты некоторой доли энергии, полностью превращаемой в работу.

Целью данной работы является выбор оптимальной системы теплоснабжения на основе теплового насоса.

Для решения поставленной задачи необходимо сначала осуществить выбор рабочего агента. При этом необходимо учитывать различ-

ные факторы, такие как: экологическая безопасность, теплофизические свойства рабочего агента (теплопроводность и теплоемкость, вязкость, критические параметры), физико-химические свойства (химическая стабильность, химическая инертность, по отношению к конструкционным материалам и смазочным маслам), стоимость рабочего агента и его практическая доступность (табл. 1).

**Таблица 1 – Характеристики некоторых фреонов, применение которых возможно в тепловых насосах**

Группа	Характеристика	Фреоны	Значения потенциалов обеднения озонового слоя ODP	Значения потенциалов глобального потепления GWP
Хлорфторуглероды	Высокая озоноразрушающая активность	R11	1,0	4000
		R12	0,9...1,0	8500
		R114	0,6...0,8	9300
Гидрохлорфторуглероды	Низкая озоноразрушающая активность	R22	0,04...0,06	1700
		R124	0,023	480
Гидрофторуглероды	Озоно-безопасные	R134a	0	1300
		R152a	0	120
		R23	0	12000

Как видно из табл. 1 фреон R134a имеет отличные термодинамические свойства, химически неактивен и безопасен, характеризуется нулевым озоноразрушающим потенциалом ODP и невысоким потенциалом парникового эффекта GWP, нетоксичный и взрывобезопасный газ, имеет достаточно низкую стоимость (согласно проведенному анализу). Хладагент R134a – подходящий хладагент для областей применения, где особое значение придается безопасности и постоянству эксплуатационных характеристик.

Эффективность теплового насоса также во многом зависит от выбора источника низкопотенциальной теплоты, так как повышение эффективности происходит при снижении разности температуры конденсации и температуры кипения рабочего агента (табл. 2). А важнейшим фактором теплового комфорта наряду с температурой воздуха в помещении служит ее распределение по площади и высоте.

На основании расчетов (табл. 2) видно, что грунтовые воды являются наиболее продуктивным источником тепла. Сравнительно постоянная в течение всего года температура грунтовых вод  $+8\div+10^{\circ}\text{C}$  позволяет достичь самую высокую теплоотдачу при системе отопления «теплый пол», а высокое значение коэффициента преобразования теплоты  $\mu$  обеспечить теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Кроме этого, равномерный прогрев поверхности

пола исключает образование прохладных и перегретых зон по площади помещения.

**Таблица 2 – Сравнение источников низкопотенциальной теплоты при разных отопительных системах**

Источник низкопотенциальной теплоты	Хладагент R134a, теплопроизводительность – 48 кВтК					
	Мощность компрессора (N <sub>э</sub> , кВт)		Коэффициент трансформации (μ)		Эксергетический КПД (η <sub>э</sub> )	
	Отопление радиаторное	Отопление напольное	Отопление радиаторное	Отопление напольное	Отопление радиаторное	Отопление напольное
Грунтовые воды (t <sub>ср</sub> = +10 °С)	29,13	14,09	1,65	3,4	0,28	0,27
Водоёмы (речная вода) (t <sub>ср</sub> =+5 °С)	30,71	15,47	1,56	3,1	0,27	0,24
Окружающий воздух (t <sub>ср</sub> =-12 °С)	34,88	18,76	1,38	2,56	0,23	0,20
Грунт (t <sub>ср</sub> =+6 °С)	30,33	14,92	1,58	3,21	0,27	0,25

#### Библиографический список

**1. Трубаев П.А.** Тепловые насосы: Учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с.

*Т. В. Муратова, студ.; рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СЛОЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

В работе предложена математическая модель слоя ТБО расположенного в зоне сушки реактора шахтного типа. Слой ТБО рассматривается как условное изотропное квазиоднородное пористое тело с эффективными теплофизическими свойствами. Модель позволяет рассчитать температурное поле слоя в процессе сушки. Полученные решения используются в тепловых расчетах реакторов для термической переработки многокомпонентных органических отходов.

Предполагается заменить реальную пористую структуру ее моделью – условным квазиоднородным изотропным пористым телом с усредненными величинами порозности, температуры, давления и т. д. Такому условному пористому телу приписывают непрерывное темпе-

ратурное поле и условные эффективные теплофизические коэффициенты: эффективный коэффициент удельной теплоемкости, и эффективный коэффициент теплопроводности. Полагают, что температура газа в порах и материала мало отличаются друг от друга и в расчетах ее принимают одинаковой.

Температурное поле слоя ТБО описывается дифференциальным уравнением теплопроводности с эффективными теплофизическими свойствами при граничных условиях II рода. Начальная температура слоя ТБО равна температуре окружающей среды. В качестве модели твердого «скелета» принята модель многокомпонентной смеси с вкраплениями [1].

Эффективный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{эф}}$  рассчитывается по формуле Л.А. Бровкина[2].

Математическая модель теплообмена в процессе сушки слоя ТБО реализована в программном комплексе ANSYS [3-4] и адаптирована на условия лабораторного эксперимента. Оценена погрешность расчетных и экспериментальных температур слоя ТБО, которая не превышает 5%.

#### Библиографический список

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
2. Бровкин Л.А. Температурные поля тело при нагреве и плавлении в промышленных печах. – Иваново: ИЭИ, 1973. – 364 с.
3. Бруйка В.А., Фокин В.Г., Кураева Я.В. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 149 с.
4. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 248 с.

*И.А. Скворцов, студ., рук. О.И. Горинев, к.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**

Сравнительный анализ большого количества методов переработки отходов привел к выводу о том, что наиболее выгодным, с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, является метод термической переработки органических масс, основанный на процессах пиролиза и газификации. Термическая деструкция отходов, согласно рассматриваемому методу, представляет собой три взаимозависимых процесса: сушки

и пиролиза перерабатываемой массы с последующей газификацией твердого углеродистого остатка.

Для осуществления возможности практического применения рассматриваемого метода нами были разработаны проекты различных термических реакторов, одним из которых является термический реактор шахтного типа.

Для создания промышленного образца такой установки необходимо изучить протекающие в ней тепломассообменные процессы. Исследование этих процессов целесообразно производить путем моделирования с применением современных средств вычислительной техники.

Основной особенностью задачи является то, что перерабатываемый слой имеет неоднородную пористую структуру и не может быть описан математически.

Для решения поставленной задачи в качестве модели слоя ТБО была использована фрактальная структура – губка Менгера (трехмерный аналог ковра Серпинского). Моделирование производилось в программно-вычислительном комплексе ANSYS с применением графического редактора Solid-Works.

Разработанная модель была верифицирована, сравнением результатов, полученных на модели с результатами лабораторного эксперимента сушки слоя ТБО.

На основании полученных данных можно сказать о том, что нами была разработана адекватная модель, позволяющая изучить тепло- массообменные процессы, протекающие в слое ТБО при их термической переработке в реакторе шахтного типа.

*Е.С. Егорова, студ.; рук. Д.А. Долинин, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОННОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ**

Широкое применение для сухой очистки газов на предприятиях получили циклоны различных типов.

В данной научной работе была построена математическая модель, описывающая поведение воздушного потока в циклоне НИИОГАЗ типа ЦН-24. Критерием выбора рассматриваемого циклона послужило то, что среди циклонов типа ЦН он отличается повышенной производительностью при наименьшем гидравлическом сопротивлении.

Целью разработки математической модели является определение эффективности циклонного пылеуловителя ЦН-24 в зависимости от размера пылевых частиц.

Трёхмерная геометрическая модель исследуемого циклона была создана в пакете Solid Works (рис. 1). Расчёты и моделирование поведения запылённого потока производились в ANSYS FLUENT. При этом в процессе работы была использована модель дискретных фаз (Discrete Phase Model), которая позволяет отображать траекторию движения частиц пыли в зависимости от их размера и взаимодействия друг с другом.

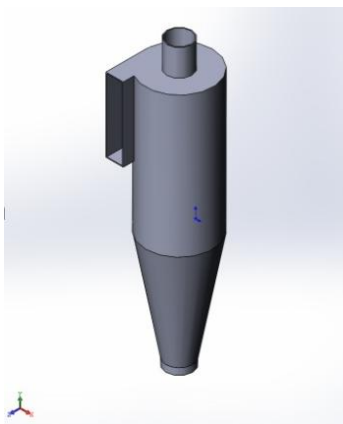


Рис. 1. Трёхмерная модель пылеуловителя ЦН-24

На входе в пылеуловитель для газовой фазы задавалась скорость. При исследовании была взята пыль, выделяющаяся при помоле известняка в шахтной мельнице, плотностью  $2706 \text{ кг/м}^3$  и диаметром частиц  $2,5 \div 40 \text{ мкм}$ . Для твердой фазы (частицы пыли) задавались плотность, массовый расход, размеры частиц и коэффициент распределения. На выходе принималось нулевое давление.

Адекватность созданной модели проверенна посредством определения гидравлического сопротивления циклона  $\Delta p$ , Па, по следующей формуле:

$$\Delta p = \zeta \rho_r \frac{v_{\text{п}}^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления циклона, рассчитывающийся по эмпирическим зависимостям.

Значения гидравлического сопротивления были вычислены по зависимости (1) и определены на математической модели при скоростях  $1 \div 5 \text{ м/с}$ . По полученным результатам был построен график зави-



симости гидравлического сопротивления от скорости воздушной среды (рис. 2). Из рисунка видно, что вычисленные значения и величины, полученные на модели, совпадают с высокой степенью точности.

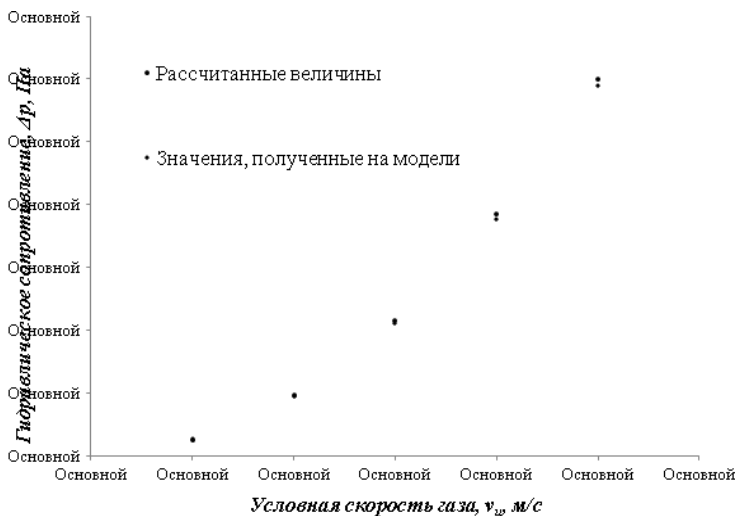


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления пылеуловителя ЦН-24 от скорости воздушной среды

Расчёт эффективности циклонов по теоретическим формулам практически невозможен. Для определения данного параметра были проведены расчёты с применением методов, основанных на экспериментальных данных и с использованием элементов теории вероятностей. Полученная модель позволяет провести исследование эффективности циклонного пылеуловителя в зависимости от параметров пыли.

*В.А. Власова, студ.; рук. О.В. Самышина, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Работа посвящена экспериментальному исследованию процесса пиролиза органических отходов в термическом реакторе с целью определения его режимных параметров и анализа состава образовавшегося газа.

Было проведено исследование процесса пиролиза в термическом реакторе органических отходов, содержащих бумагу, ткань, пленку, картофель. Измерения проводились на базе центра коллективного пользования при ИГХТУ с помощью синхронного термического анализатора NETZSCH STA 449 F3 Jupiter, совмещённом с Фурье-ИК спектрометром VECTOR 22 с газовой кюветой. Термоанализатор измеряет тепловой поток и изменение массы, являющиеся следствием химических превращений.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1.

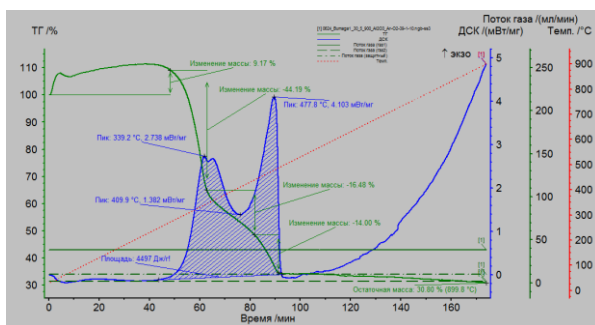


Рис. 1. Кривые ДСК и ТГ для бумаги при содержании  $O_2=1\%$  в атмосфере по времени

На основе полученных экспериментальных данных были определены диапазоны оптимальных температур процесса термической переработки твердых отходов, в частности температурный режим термического реактора рекомендуется поддерживать в диапазоне 329 – 511 °C; изменение их массы; состав и количество образовавшихся газов.

*Н. М. Коротаева, студ; рук. О.Б. Колибаба, к.т.н, доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРОЗНОГО СЛОЯ

Процесс фильтрации газа в слое твердых бытовых отходов (ТБО) зависит от его гидравлического сопротивления. Определение сопротивления слоя ТБО сопряжено с затруднениями, связанными с его неявно выраженной структурой. Слой ТБО представляет собой пористое тело, состоящее из смеси различных по размеру компонентов продук-

тов жизнедеятельности человека, физические свойства, которых различны.

Коэффициент гидравлического сопротивления зависит от порозности, высоты слоя ТБО и критерия Рейнольдса, который определяется скоростью движения фильтрационного потока теплоносителя. Исходя из условий эксперимента, варьировались эти параметры.

Порозность слоя ТБО изменялась в пределах от 0,78 до 0,58. Высота слоя - от 0,04 м до 0,16 м. Скорость движения газа - от 0,8 м/с до 2,7 м/с.

Расчет коэффициента гидравлического сопротивления проводился по методике, предложенной Л.М. Мариенбахом [1].

На основе теории планирования эксперимента [2] создана регрессионная модель для исследования коэффициента сопротивления слоя ТБО.

Предложены формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления слоя твердых бытовых отходов в зависимости от высоты, порозности слоя и скорости газа. По результатам расчета построены монограммы для определения коэффициентов сопротивления слоя ТБО.

#### Библиографический список

1. **Аэров М.Э.** Аппараты со стационарным зернистым слоем / М. Э. Аэров, О. М. Тодес, Д. А. Наринский // - Л.: Химия, 1979. – 172с.
2. **Шипилов В.М., Гнездов Е.Н.** Планирование теплофизического эксперимента. – Иваново: ИВГУ, 1981. – 76 с.

*А.Е. Потехин, М.А. Акимова студ.;*  
*рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доцент*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПРОЦЕСС НАГРЕВА НАСЫПНЫХ САДОК

В задачу данного исследования входило изучение влияния фильтрации газа на процесс нагрева насыпных садок [1,2] в термических печах.

Целью исследования являлось экспериментальное определение температурного поля насыпной садки при различных режимах фильтрации и оценка энергетической эффективности нагрева садки на основе теплового баланса рабочего пространства печи.

В ходе лабораторного эксперимента, в рабочее пространство предварительно разогретой до 1000 °С камерной электрической печи по-

мещали насыпную садку в металлическом контейнере с отверстиями. Фильтрация организовывалась за счет подачи в рабочее пространство печи предварительно нагретого воздуха. В ходе эксперимента фиксировались температуры в 4-х характерных точках садки, температура печи, скорость и расход воздуха.

В соответствии с параметрами качества нагрева металла нагрев заготовок происходил до температуры 900 °С. Конечный температурный перепад между поверхностью и центром садки составил 10 °С.

Была проведена серия экспериментов по нагреву насыпных садок из изделий различной номенклатуры без фильтрации и с фильтрацией теплоносителя. Проведенный анализ результатов позволяет сделать вывод, что удельные затраты энергии на нагрев садки при наличии фильтрации снижаются. Это зависит от скорости фильтрации и порозности садки.

#### Библиографический список

1. Пуговкин А.У. Рециркуляционные пламенные печи / А.У.Пуговкин // - Л.: Машиностроение, 1975. – 200с.
2. Бровкин Л.А. К решению задач теплопроводности в пористом теле / Л.А.Бровкин // Изв.ВУЗов. Энергетика, 1987, №2. С.63 – 67.

*Н.В. Кувшинов, студ.; рук. Д.А. Долинин, доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ В ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ ANSYS FLUENT

На современном этапе развития индустрии эффективная пылегазоочистка имеет очень важное место. Комплексные решения, в сфере пылегазоочистки по централизованной очистке воздуха и газов, пылеудалению, очистке вентиляционных и промышленных выбросов, становятся все более актуальными. В таких отраслях промышленности как: химическая, горнодобывающая, металлургическая, цементная, асфальтная и др., эксплуатация пылегазоочистных систем даже предписана законами. Эффективная пылегазоочистка просто необходима для создания здоровой экологической обстановки как внутри производственных помещений и рабочих зон, так и за их пределами, борьба за повсеместное внедрение и использование новых пылегазоочистных сооружений ведется правительствами большинства экономически развитых стран мира. Трудно не согласиться с мыслью о том, что уже ни-

какая промышленность не потребуется в принципе в отравленной среде обитания, поэтому пылегазоочистные сооружения столь важны, и именно поэтому во всем мире выделяются значительные средства на разработку новых пылегазоочистных систем самых различных типов.

В связи с развитием ЭВМ и различных программных пакетов (модулей) пользователям газоочистного оборудования предоставлена возможность оценки и моделирования процессов возникающих в пылегазоочистных системах, что уже стало одним из важнейших частей конструкторской разработки очистительного оборудования. Такие задачи газодинамики могут быть решены с достаточной точностью с помощью комплекса вычислительной гидрогазодинамики ANSYS Fluent. Системность расширения сферы виртуального инженерного моделирования имеет основой ряд фундаментальных причин. Одной из таковых в рамках CFD служит то, что системы дифференциальных уравнений турбулентного движения потока не имеют аналитического решения точные данные о параметрах процессов, связанных с движением жидкости и газов, можно получить из натурного моделирования.

Циклоны типа ЦН-15 являются наиболее универсальным типом циклонов. Они предназначены для сухой очистки газов, выделяющихся при некоторых технологических процессах (сушке, обжиге, агломерации, сжигании топлива и т.д.), а также аспирационного воздуха в различных отраслях промышленности (черной и цветной металлургии, химической, нефтяной и машиностроительной промышленности, промышленности строительных материалов, энергетике и т.д.). Однако применение циклонов типа ЦН-15-100 недопустимо в условиях токсичных или взрывоопасных сред; их также не рекомендуется использовать для улавливания сильно слипающихся частиц пыли.

В качестве объекта исследования был выбран типовой циклон ЦН-15-100. В зависимости от наклона входного патрубка относительно горизонтали (в нашем случае  $15^\circ$ ) и внутреннего диаметра цилиндрической части циклона существует множество типовых конструкций циклонов. Внутренняя площадь входного патрубка  $1,914 \text{ м}^2$ , выходного  $0,0314 \text{ м}^2$ . Приблизительная скорость на входе в циклон 18 метров в секунду, на выходе 11 метров в секунду.

Для решения задачи были построены трехмерные геометрические модели области течения запыленного газа в масштабе 1:1 в пакете Solid Works. (Рис. 1)

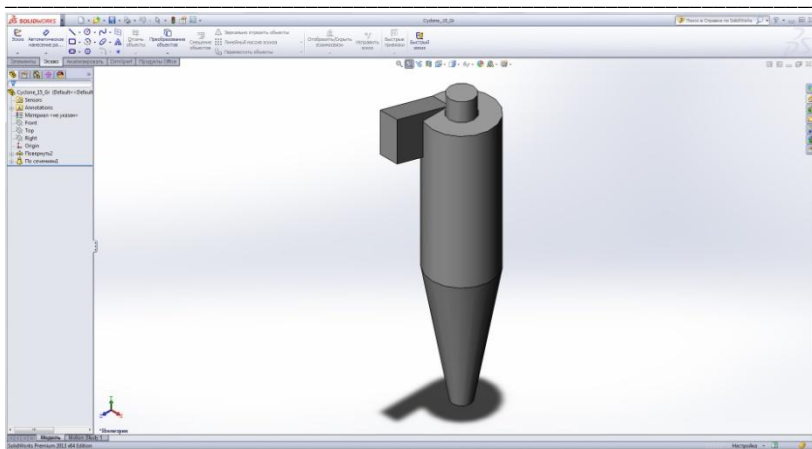


Рис. 1. Модель внутренней области циклона

Расчетная сетка строилась в ANSYS Meshing. Расчеты производились в модуле ANSYS FLUENT. Задачи решались в стационарной постановке. На входе в расчетную область задается скорость, температура и расход. На остальных поверхностях расчетной области автоматически задается условие гидравлически гладкой изотермической стенки. Турбулентность моделируется стандартной  $k$ -моделью с автоматическими функциями стенки. После выполнения расчетов производился анализ эффективности улавливания пыли от конструктивных особенностей циклонов.

*А.С. Семенов студ.;*  
*рук. О.Б. Колибаба к.т.н., доц., Д.А. Долинин, доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЯ ТБО**

Чтобы исследовать процесс переработки твёрдых бытовых отходов (ТБО), необходимо изучить их гидравлическое сопротивление. Так как структура ТБО неравномерная, изучить её сложно. Поэтому для математического моделирования будет использоваться фрактальная структура – губка Менгера.

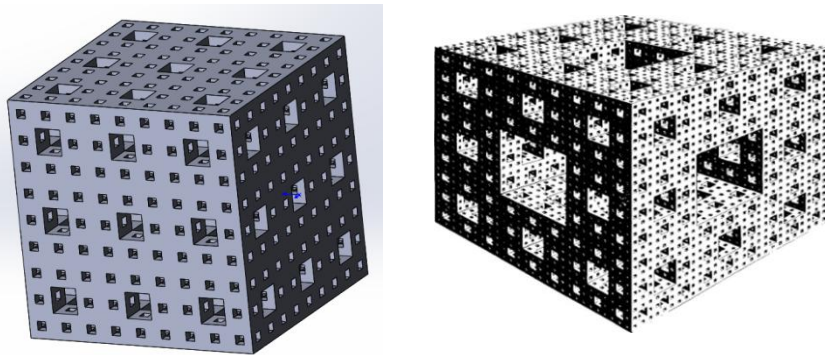


Рис. 1. Губка Менгера

Создаётся она следующим образом. Каждая грань куба, имеющая единичную длину, делится на 9 равных квадратов. В результате исходный куб разбивается на 27 одинаковых кубиков с длиной ребра, равной  $1/3$ . Затем, удаляя 7 кубиков (один центральный и 6 из центра каждой из граней), противоположные грани исходного куба соединяются сквозным центральным отверстием квадратной формы. В результате из 27 остается 20 маленьких кубиков (рис.1.б.). Но так как основная часть воздуха проходит через середину губки, принимается решение оставить среднюю часть губки.

Для исследования гидравлического сопротивления слоя ТБО используем программный модуль ANSYS Fluent. Построив сетку, задаём на поверхности *Inlet* постоянную скорость флюида на входе в слой ТБО. Полученные результаты перепада давлений сравниваются с экспериментальными данными, снятые с лабораторного стенда.

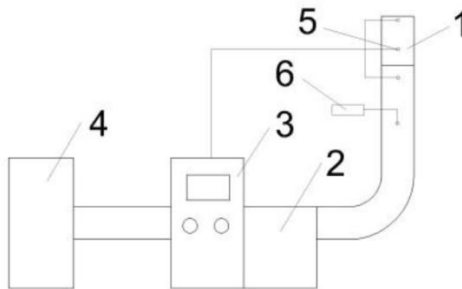
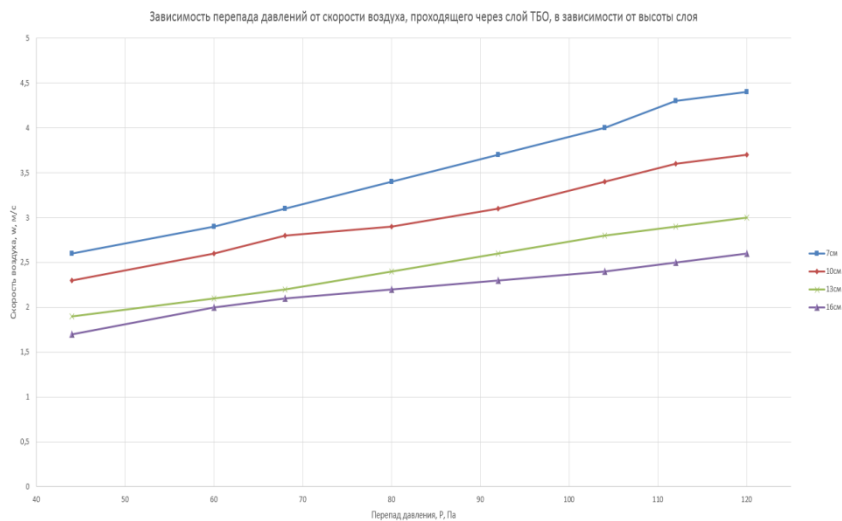


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

Экспериментальная установка состоит из участка трубы (1) с металлической сеткой для удержания слоя ТБО и электрического калорифера (2). Движение воздуха осуществляется вентилятором (4), находящийся перед калорифером. Скорость потока газа регулировалась при помощи блока управления (3) с экраном для вывода информации.

С помощью экспериментальной установки, было сделано несколько экспериментов. На основе полученных результатов, выявлена зависимость скорости движения воздуха через слой ТБО от перепада давлений. Зависимость представлена на графике:



**Рис. 3.** Зависимость перепада давлений от скорости воздуха

В ходе работы планируется сравнить экспериментально полученные величины с данными из программного модуля ANSYS Fluent.



## СЕКЦИЯ 10

# БЕЗОПАСНОСТЬ ИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНОСФЕРЕ

*Председатель – д.т.н., проф. А.К. Соколов*  
*Секретарь – студ. А.А. Матвеева*

*А.В. Савинов; В.В. Андреев, д.т.н.*  
*(НГТУ, г. Н.Новгород)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИГОНА ДЛЯ РАБОТЫ РОБОТА-ДОЗИМЕТРИСТА

В настоящее время роботы активно внедряются в повседневную жизнь не только в быту и промышленности, но и для проведения технологических работ в опасных для человека условиях. В нашей работе предлагается использовать робота при проведении дозиметрической разведки местности после серьезной радиационной аварии с выходом продуктов деления за пределы активной зоны. В случае такой аварии мощность дозы вокруг источников может превышать 0,03 Гр/сек, что не только смертельно опасно для человека, но и сильно влияет на технику. В соответствии с этим появляется необходимость защиты техники. [3] Один из способов защиты – уменьшение времени пребывания в зараженной зоне, это достигается реализацией метода «защиты временем и расстоянием». [2] Подробнее этот метод описан в [3]. Для реализации этого метода проводится моделирование работы робота-дозиметриста на полигоне. Модель робота создана на базе конструктора Lego Mindstorm NXT 2.0.

Рассматривается работа робота-дозиметриста на полигоне, имитирующем зараженный участок поверхности. Полигон условно разбит на элементарные участки, в пределах которых может располагаться физическое препятствие (например, обломок конструкции), или высокоактивный источник ионизирующих излучений (ИИ). Размеры элементарного участка определяются исключительно габаритами и техническими характеристиками робота. В начале разведки полигон разбивается на 100 элементарных участков.

При выполнении разведки роботу-дозиметристу необходимо определять возможность движения (наличие / отсутствие физического

препятствия) и мощность дозы на элементарном участке. Для этой цели используются ультразвуковой датчик и датчик цвета.

Препятствия на полигоне моделируются с помощью неподвижных объектов. Эти объекты выполнены в форме кубов со стороны, равной стороне элементарного участка.

Мощность дозы имитируется с помощью цвета элементарного участка. Рассматривается 3 варианта окраски:

- красная – мощность дозы выше 0,03 Гр/сек;
- желтая – мощность дозы от 0,003 до 0,03 Гр/сек;
- зеленая – менее 0,003 Гр/сек.

Использование дополнительного источника информации (скорости отклонения стрелки дозиметра) роботом – дозиметристом[3] реализуется программно, путем учета времени ожидания в конкретной элементарной ячейке, необходимого для замера. В качестве исходных данных для этого взяты характеристики дозиметра ИМД-2МН.[1]

Расчеты показывают, что использование трех источников информации снижает дозовую нагрузку на технику на 43,97%.[3] В настоящее время выполняется оптимизация алгоритма разведки на полигоне с целью дополнительного снижения дозовой нагрузки на технику.

#### Библиографический список

1. Приборы дозиметрические и химические //www.sibzashita.ru/
2. Митенков А. Ф. – «Четверть века» - Н.Новгород, 2012. – 69с.
3. Савинов А.В., Андреев В.В. Моделирование работы робота-дозиметриста в условиях сверхвысоких полей ионизирующих излучений //Будущее технической науки: сборник материалов XIV Международной молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2015 - с. 362-363.

*С.Н. Малоземов, студ.; рук. А.Н. Семеновко  
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

## СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО МОДУЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА «РАДОН-Д»

Важным критерием оценки безопасности жизни и здоровья человека является радиационное воздействие. Для обеспечения защиты населения от опасного излучения природного и техногенного характера необходимо проведение измерений радиационного воздействия. Для количественной оценки ионизирующего излучения используются специальные приборы – дозиметры. Все существующие дозиметры подразделяются на бытовые и профессиональные. Бытовые приборы име-

ют высокий уровень погрешности измерений, что может привести к неверной оценке радиационного воздействия и, как следствие, нанесению вреда здоровью человека. Профессиональные дозиметры, как правило, имеют сложное устройство, высокую цену и выпускаются в ограниченных количествах.

Целью проекта является создание профессионального дозиметра-радиометра, который будет доступен для широкого круга потребителей и сможет решать задачи, связанные с измерениями ионизирующих излучений. Дозиметр должен обладать ровно тем набором функций, который необходим конкретному пользователю. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность модернизации дозиметра.

Суть разработки заключается в следующем. Дозиметр «Радон-Д» предназначен для измерения ряда характеристик ионизирующего излучения (ИИ) с профессиональной точностью: мощности дозы гамма-излучения; индивидуальной дозы персонала, контактирующего с источником ИИ; плотности потока  $\beta$  - частиц с поверхности; плотности потока  $\alpha$  - частиц с поверхности. Главной особенностью прибора является модульная концепция построения. А именно, на базовой платформе, может быть реализован различный технический функционал устройства, путем подключения соответствующих модулей:

- изменяемое количество детекторов;
- возможность подключения выносного  $\alpha$ - и (или)  $\beta$ - детектора;
- возможность беспроводной передачи данных;
- возможность подключения к ПК и обработки данных;
- различные виды питания прибора.

Модульная концепция дозиметра позволит реализовать возможность предварительного выбора нужного набора функций. Предварительный выбор комплектации прибора будет осуществляться на сайте с помощью удобного и интуитивно-понятного «конструктора функций».

Инновационной составляющей рассматриваемого проекта является предложенный разработчиками способ повышения точности регистрации  $\gamma$ -излучения дозиметром с использованием газоразрядных счетчиков Гейгера-Мюллера. Данный способ заключается в раздельной обработке сигнала каждого детектора. В отличие от прототипа (ДРГ-01Т1) счетчики работают независимо друг от друга. А значит, при попадании ионизирующей частицы на один из счетчиков, происходит падение напряжения только на этом счетчике, и только этот счетчик прекращает реагировать на другие частицы в течение 0,2 мс (мертвое время счетчика). В то время как другие счетчики продолжают работать в штатном режиме, и получаемая с них информация продолжает поступать и непрерывно обрабатываться микроконтроллером.

Центральным элементом прибора является 32-разрядный микроконтроллер STM-32 повышенной энергоэффективности на ядре Cortex M3. Контроллер позволяет при помощи минимальных энергетических затрат обрабатывать информацию, поступающую по нескольким каналам одновременно. В качестве детекторов излучения в приборе используется 4 счетчика Гейгера-Мюллера СБМ-20, помещенных в фильтр, выполненный из специального материала.

За счет своей многофункциональности дозиметр «Радон-Д» может быть использован во всех сферах радиационного контроля. Кроме того, модульная концепция прибора позволит пользователю оперативно реагировать на изменение поставленных задач по обеспечению радиационной безопасности.

*Т.В. Мужжухина, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОГАЗОСВАРЩИКА**

Оценка профессионального риска отражает все опасные и вредные факторы, воздействующие на работника, позволяет определить вероятность различных негативных явлений (общей заболеваемости, профессиональной заболеваемости, травмирования, гибели), а также учитывает степень тяжести их последствий для работника.

Анализ и оценка риска для электрогазосварщика проведены поэтапно в соответствии с [2]. Выполнена гигиеническая оценка и установление класса условий труда. Установлено, что на работника оказывают воздействие химический фактор (по которому определен класс условий труда – 3.1), акустический фактор (класс – 2), неионизирующие излучения (класс – 3.1), параметры микроклимата (класс –2), параметры световой среды (класс – 3.1). Проанализированы также тяжесть труда (класс –3.2) и напряженность трудового процесса (класс –2). При наличии факторов, которым присвоен класс условий труда 3.1 и выше, риск оценен по категории 2 (подозреваемый). Поскольку условиям труда на рабочем месте присвоен класс 3.2, предполагается, что у работника возможно развитие профессиональных заболеваний легкой и средней степеней тяжести, формирование хронических профессионально обусловленных патологических изменений в организме.

Далее были уточнены последствия заболеваний, связанных с воздействием на электрогазосварщика таких факторов

производственной среды, как повышенные концентрации вредных веществ в воздухе, повышенные уровни неионизирующих излучений, недостаточная освещенность рабочего места, тяжесть трудового процесса. Выявлено, что профессионально обусловленными заболеваниями для работника являются снижение зрения, бронхит, пневмосклероз, катаракта, конъюнктивит, нарушение иммунной системы, моно- и полиневропатии, деформирующие остеоартрозы. По каждому фактору с классом условий труда 3.1 и выше определен показатель – индекс профессионального заболевания  $I_{пз}$  по формуле:

$$I_{пз} = \frac{1}{K_p \cdot K_t},$$

где  $K_p$  – категория риска профессиональных заболеваний,  
 $K_t$  – категория тяжести профессиональных заболеваний.

Расчетное значение  $I_{пз}$  для факторов класса 3.1 составило 0,11, а для фактора класса 3.2 – 0,24. При сочетанном воздействии всех вредных факторов индекс профессионального заболевания равен 0,57, что соответствует высокому уровню риска, равному 0,1, и требует принятия мер по улучшению условий труда. Такой уровень риска означает высокую степень обусловленности профессиональных патологий состоянием условий труда на рабочем месте.

Воздействие вредных производственных факторов на работника проявляется в сокращении продолжительности жизни, особенно в трудоспособном возрасте, увеличении смертности. Для электрогазосварщика, работающего в условиях риска такого уровня, предполагаемое сокращение продолжительности жизни может составить до 16 сут./год, а предполагаемое увеличение биологического возраста – до 3...5 лет.

Для снижения негативного воздействия указанных выше факторов производственной среды на работника можно предложить проведение следующих мероприятий: "защита временем" (уменьшение времени пребывания работника в условиях воздействия вредных факторов); использование средств индивидуальной защиты (средств защиты органов дыхания и глаз, рабочей одежды из специальных материалов); снижение уровней вредных факторов за счет проведения технических мероприятий (рационализация системы освещения и реконструкция системы местной вентиляции); снижение тяжести трудового процесса за счет модернизации используемых приспособлений и оборудования.

#### Библиографический список

1. Бойко С.В., Каравайков В.М. Проблемы оценки профессионального риска на практике // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 12. – С. 3-6.

2. Р 2.2.1766–03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. – М., 2003.

*А.А. Гаверилова, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОЖАРООПАСНОСТЬ РАЗРЫВНЫХ И НЕРАЗРЫВНЫХ КОНТАКТОВ**

В электрической системе имеется огромное количество контактов. Их качество имеет прямое отношение к надежности электрического оборудования. Контакты низкого качества часто являются причиной повреждений установки, нарушений нормальной её работы, пожаров и взрывов.

По назначению и условиям работы контакты можно разделить на неразрывные и разрывные контакты. Неразрывные делятся на: неподвижные контакты (в них отсутствует перемещение контактных частей относительно друг друга) и подвижные контакты (в них имеет место скольжение или качение одной контактной части относительно другой).

Опасность возникновения пожаров при эксплуатации электроустановок заключается в наличии сгораемой изоляции электрических сетей машин и аппаратов, окислителя и источника зажигания. Большинство изоляционных материалов являются сгораемыми. Причинами пожаров могут быть аварийные режимы работы электротехнических изделий:

- короткие замыкания, перегрузки проводников, машин и аппаратов;
- искры и электродуги; большие переходные сопротивления;
- вихревые токи, возникающие в массивных металлических деталях в результате изменения магнитных потоков, индуктирующих ЭДС.

При перегрузке электросети приборы и аппараты, подключенные к ней, постоянно испытывают нехватку тока, что может привести к их аварийному выходу из строя. Опасность замыкания заключается в увеличении в сотни тысяч ампер силы тока, что приводит к выделению в малый промежуток времени большого количества тепла в проводниках. Это вызывает резкое повышение температуры и воспламенение изоляции, расплавление материала проводника с выбросом искр, способных вызвать пожар горючих материалов. Искры и электродуги при наличии в помещении горючих веществ или взрывоопасных смесей могут быть причиной не только пожара, но и взрыва.

При прохождении электрического тока через контакты они нагреваются, причем наиболее высокая температура наблюдается на контактной поверхности из-за наличия переходного сопротивления. В результате нагрева контакта увеличивается удельное сопротивление материала контакта и переходное сопротивление. Для уменьшения сопротивления контакта существуют следующие способы:

- токоведущие шины с продольными разрезами на контактирующих поверхностях, которые разделяют общую площадь соединения;
- обеспечение параллельности контактных поверхностей. предварительная зачистка перед сборкой контактных соединений;
- выбор такой величины давления, которая обеспечивает необходимую площадь контакта и не превышает предел упругости для предотвращения его механического отказа;
- применение многоточечных контактных элементов из специальных упругих сплавов (формирование параллельно проводящих мостиков и резкое снижение переходного сопротивления);
- использование специальных смазок и электропроводящих составов.

Контакты электрических машин, аппаратов, проводников должны проводить номинальные токи в течение неограниченного времени; при этом температура контактных частей не должна выходить за установленные пределы. Это требование обеспечивают выбором соответствующих материалов, числа контактных точек и давления на контактные части.

#### Библиографический список

1. **А.Г. Горбунов**, Основы безопасности жизнедеятельности в энергетике: Курс лекций/ ГОУВПО «ИГЭУ им. В.И.Ленина», 2006. 144 с.
2. **Л.А. Родштейн**, Электрические аппараты, Ленэнергоиздат, 1981. 304 с.
3. «Энциклопедия по машиностроению XXL» [Электронный ресурс] URL: <http://mash-xxl.info/info/181126/>

*А.С. Трунова, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящее время широкое распространение получила мобильная радиотелефонная связь. Учитывая перспективы развития сетей сотовой связи, существует настоятельная необходимость в их однозначной санитарно-гигиенической оценке как источников ЭМИ. Как

неоднократно констатировалось, вопросы выбора критериев оценки интенсивности ЭМП сотовых телефонов и методологии проведения гигиенических испытаний сотовых телефонов в настоящий момент остаются нерешенными. Необходимо решить две основные задачи: получить данные о возможном биологическом действии на организм пользователя ЭМП сотовых телефонов, достаточные для определения безопасного предельно допустимый уровня ЭМП сотового телефона, и отработать метрологическое обеспечение санитарно-гигиенической оценки ЭМП сотовых телефонов.

ЭМП, как фактор внешней среды, может рассматриваться с двух позиций: биологической вредности и социальной полезности. Определены критические системы организма, которые наиболее чувствительны к ЭМП. Важным фактором в оценке опасности ЭМП является установленная роль модуляции в развитии радиобиологического эффекта. Первое в России исследование биологического действия ЭМП сотового телефона проведено в 1997-1998 годах совместно Центром электромагнитной безопасности и ГНЦ РФ - Институтом биофизики.

За рубежом основным параметром, характеризующим ЭМП сотовых телефонов, является удельная поглощаемая мощность – SAR, который не соответствует принятому в настоящее время в России подходу к установлению ПДУ, особенно в случае малых интенсивностей.

Структура построения систем сухопутной подвижной связи предусматривает наличие базовых (стационарных) станций и мобильных (подвижных) станций. При этом для БС определены методики расчета уровней ЭМП и методики измерения, подтверждающие расчетные значения. Для МС определены только методики измерения. Методика прогнозирования основана на использовании метода, предложенного Б. А. Введенским. Методики расчета уровней электромагнитного поля и границ санитарных зон базовых станций.

Риск жизни человека проявляется в двух формах - добровольный и принудительный (вынужденный) риск. Учитывая, что основной задачей системы электромагнитной безопасности станет перевод риска вынужденного в риск добровольный в настоящее время необходимо определить технические требования к сотовому телефону, позволяющие пользователю радиотелефона самостоятельно выбирать и контролировать уровень воздействия ЭМИ.

Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений считает необходимым: не использовать сотовые телефоны детям и подросткам до 16 лет; беременным, людям с ослабленным



здоровьем, при использовании сотового телефона принимать меры по ограничению воздействия электромагнитного поля, а именно ограничить продолжительность разговоров. Поддерживая предупредительную стратегию Всемирной Организации Здравоохранения, необходимо от имени Министерства Здравоохранения Российской Федерации довести информацию до населения об элементарных правилах безопасности и гигиены при обращении с сотовыми телефонами.

#### **Библиографический список**

1. "Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания" МУК 4.3.0 -96.
2. Методические указания МУК 4.3.046 - 96 "Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазонов".
3. Решение № 53-6 от 21 ноября 2001 г. "О состоянии и проблемах защиты населения от неионизирующих излучений"
4. Решение № 98-5 от 15 апреля 1999 г. "О некоторых проблемах обеспечения экологической безопасности в условиях воздействия электромагнитных и других неионизирующих излучений"
5. Указание № 581 У от 11 апреля 2002 г. Первого заместителя Министра здравоохранения РФ Онищенко Г.Г. о создании рабочей группы "Электромагнитная безопасность сотовой связи".
6. Протокол межведомственного совещания "Обеспечение безопасности населения в условиях воздействия электромагнитного поля сотовой связи. Информационное и государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование, их обеспечение" от 12 февраля 2002 г., Департамент Госсанэпиднадзора МЗ РФ, Москва.
7. Доклад Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений "Санитарно-гигиеническая оценка сотовых телефонов в России: современные проблемы и пути их решения" г. Москва, 2001 г.
8. Выписка из протокола заседания от 19 сентября 2001 года (по итогам обсуждения вопроса повестки дня "Санитарно-гигиеническая оценка сотовых телефонов в России: современные проблемы и пути их решения")
9. "Добровольный и вынужденный экологический риск при воздействии электромагнитного излучения, создаваемого системами сотовой связи", доклад А.Ю. Сомова на заседании 20 декабря 2001 г.

*М.В. Тихомирова, студ., рук. Ю.М. Овсянников, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СОУТ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ВЕРХНЕВОЛЖСКИЙ СЕРВИСНЫЙ МЕТАЛЛО - ЦЕНТР»**

Группа компаний «ДиПОС» занимается реализацией металлопроката для нужд промышленных и строительных

организаций. Потребители продукции компании относятся к строительной, автомобильной, топливно-энергетической, машиностроительной, электротехнической и другим отраслям промышленности. При этом сама компания тесно сотрудничает со сталепрокатными заводами и металлургическими комбинатами не только России, но и стран ближнего зарубежья.

Сервисные металлоцентры расположены в следующих городах: Санкт-Петербург «ДиПОС - СПб», Краснодар «ДиПОС-Кубань», Барнаул «ДиПОС-Алтай», Киров «Вятский СМЦ», Иваново «Верхневолжский СМЦ», Смоленск «СмолМетТорг», Рубцовск «ДиПОС-Рубцовск», Новомосковск «ДиМЕТА».

В итоге, на данный момент группа компаний «ДиПОС» входит в тройку крупнейших металлотрейдеров России.

Предприятие «Верхневолжский сервисный металлоцентр» начало свою деятельность по обработке и производству металлопродукции в августе 2003 года.

Верхневолжский СМЦ обладает широкой инфраструктурой, территория, которую занимает завод, составляет 26 гектар. Доставка продукции осуществляется собственным транспортом компании. ВВСМЦ обладает собственными железнодорожными путями, а также большим парком большегрузной автомобильной техники.

Естественно, исходя из вышесказанного, актуальным является вопрос обеспечения безопасных условий труда работников, занятых на производстве металлопроката.

Важным шагом на пути к реализации безопасных условий труда, является оценка влияния воздействующих на работников факторов, которая была проведена на предприятии в форме специальной оценки условий труда (СОУТ).

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников.

Основная масса рабочих мест на предприятии сосредоточена в пяти металлоперерабатывающих цехах.

По итогам результатам проведения СОУТ установлены следующие классы условий труда на рабочих местах. Классу 2 соответствует 177 из 334 рабочих мест. Подклассу 3.1 соответствует 122 рабочих места. Подклассу 3.2 – 3 рабочих мест.

Согласно сводной ведомости одними из наиболее вредных и (или) опасных производственных факторов являются:

- шум;
- неионизирующие излучения;
- аэрозоли преимущественно фиброгенного действия;
- химический фактор.

Работникам, занятым во вредных условиях труда на предприятии предоставляются следующие виды гарантий и компенсаций:

- повышенная оплата труда;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск;
- сокращенная продолжительность рабочего времени;
- молоко или другие равноценные пищевые продукты;
- лечебно – профилактическое питание;
- право на досрочное назначение трудовой пенсии;
- проведение медицинских осмотров.

Также для конкретных рабочих мест созданы различные рекомендации по улучшению условий труда, по режимам труда и отдыха:

- Рекомендации по применению СИЗ;
- Рекомендации по подбору работников.

#### **Библиографический список**

1. Сводная ведомость результатов проведения СОУТ на предприятии ООО «Верхневолжский СМЦ» за 2015 г.
2. Горбунов А.Г. Основы безопасности жизнедеятельности в энергетике: Курс лекций/ А.Г. Горбунов.– ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».– Иваново, 2006.– 144 с.
3. Официальный сайт ГК ДиПОС. – URL: <http://www.dipos.ru> (дата обращения 20.12.2015).
4. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О специальной оценке условий труда»

*Е.А. Балашова, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОИСШЕСТВИЯ И ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Водород на электрических станциях производят посредством электролиза и применяют для охлаждения турбинных электрогенераторов.

Смесь водорода с кислородом, содержащая от 4 до 95% водорода, и смесь с воздухом, содержащая от 4 до 75%, является взрывоопасной. Минимальная энергия искры, которая требуется для воспламенения водородно-воздушной смеси, примерно на порядок меньше, чем для воспламенения смеси природного газа с воздухом. Даже искры, возникшей вследствие разряда статического электричества от человеческого тела, может быть достаточно для инициирования взрыва.

Технетические процессы, протекающие и возникающие в водородонаполненном оборудовании электростанций, могут приводить к техногенным происшествиям, начинающим процессы техногенного воздействия.

Доступны сведения о техногенных происшествиях, инициирующих взрывы водородно-воздушных смесей. В частности, 13 августа 2010 года в одном из районов Норильска на ТЭЦ-2 произошел взрыв. Взрыву предшествовало образование взрывоопасной смеси в ресиверной. Предположительно был поврежден компонент водородного трубопровода. По времени взрыв в ресиверной совпал с моментом открытия двери дежурным механиком, который проводил плановый осмотр. Работник от взрывной волны получил многочисленные переломы и повреждения внутренних органов, что стало причиной его смерти. Было полностью разрушено здание ресиверной, а также повреждены расположенные вблизи здания.

Задача исследования проблемы техногенной безопасности при эксплуатации водородонаполненного оборудования решается посредством его системнологического описания и обнаружения технетических процессов, событий и происшествий, приводящих к возникновению техногенных воздействий.

Обнаруженные техногенные воздействия выражаются количественными показателями, значения которых определяются

расчётами. Сравнение вычисленных значений с предельно допустимыми позволяет делать выводы о размерах зон, в которых выявленные техногенные воздействия опасны.

*А.Д. Булдакова, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОИСШЕСТВИЯ И ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАСЕЛ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ**

Масляное хозяйство электрических подстанций (ПС) напряжением 110 кВ и выше может иметь в своём составе: башню для ремонта трансформаторов, реакторов и другого оборудования; мастерскую маслохозяйства с оборудованием для обработки масла или аппаратную маслохозяйства с коллектором для присоединения передвижного оборудования по обработке масла; открытый склад масла со стационарными резервуарами.

Разновидности применяемых на ПС минеральных масел – это трансформаторное масло и турбинное масло. Для силовых и измерительных трансформаторов, масляных выключателей и других высоковольтных устройств используется трансформаторное масло, для синхронных компенсаторов – турбинное.

Минеральные масла состоят из углеводородов и других соединений, содержащих серу, кислород и азот. Масло по стадии обработки может быть: свежим маслом с показателями, имеющим некоторые отклонения от нормативных; чистым сухим маслом, соответствующим нормам и готовым к заливке; эксплуатационным маслом, залитым в оборудование; отработанным маслом; регенерированным маслом, пригодным последующему применению.

Технетические процессы, протекающие и возникающие в маслонаполненном оборудовании ПС, могут приводить к техногенным происшествиям, начинающим процессы техногенного воздействия. Известны многочисленные техногенные происшествия, инициирующие пожарное горение масла на ПС.

Задача научного исследования проблемы техногенной безопасности при эксплуатации масляного хозяйства решается посредством системнологического описания ПС и обнаружения

технетических процессов, событий и происшествий, приводящих к возникновению техногенных воздействий.

Обнаруженные техногенные воздействия выражаются количественными показателями, значения которых определяются расчётами. Сравнение вычисленных значений показателей воздействий с предельно допустимыми позволяет делать выводы об опасности выявленных техногенных воздействий.

*А.А. Матвеева, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВАРИОФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОЖАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАЗУТА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Мазут, представляющий собой горючую жидкость с повышенной вязкостью, применяется на тепловых электростанциях в качестве топлива. Мазутохранилище станций предназначается для приема, хранения и подготовки мазута к сжиганию. Одно из сооружений мазутохранилища, которое может стать источником техногенных пожарных воздействий, – это стальной вертикальный цилиндрический резервуар.

Задача научного исследования проблемы техногенной безопасности при эксплуатации резервуаров мазутохранилища решается с использованием системнологического приёма, называемого вариофикацией. Вариофикация предусматривает отыскание и раскрытие всех возможных сочетаний технетических процессов, событий и происшествий, приводящих к техногенным пожарным воздействиям послекритического уровня, источником которых может быть резервуар с мазутом.

Детерминированные технетические процессы, в которых участвует мазут, следующие: перемещение при заполнении и опорожнении резервуара; взаимодействие сернистых компонентов с металлической стенкой резервуара с образованием пирофорных соединений; нагрев или охлаждение теплотой внешней среды; отделение растворённых газов и испарение; образование газопаровоздушной смеси и др. Стохастические технетические происшествия и процессы, которые возможны при эксплуатации резервуара с мазутом, следующие: нагрев и воспламенение пирофорных соединений; удары молний, отказы системы молниезащиты и заземляющих устройств; воспламенение

газопаровоздушной смеси; разгерметизация наружных мазутопроводов и арматуры; утечка и разлив мазута; возникновение искровых разрядов статического электричества, горение пролитого мазута и др.

Вариофикационная модель причин воспламенения мазута и последствий горения визуализирует каскадно-цепное протекание технетических процессов в резервуаре мазутохранилища, начинаемых и перемежаемых событиями и происшествиями, совокупность которых приводит к возникновению техногенных происшествий, начинающих процессы техногенных воздействий. Создаваемая вариофикационная модель может служить основой для мероприятий менеджмента риска.

*Е.А. Жаравина, студ.; рук. Ю.М. Овсянников, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА ХИМКОМБИНАТЕ «МАЯК»**

В современном мире вопрос энергопотребления стоит очень остро. Ограниченность таких ресурсов, как нефть, газ, уголь, заставляет задуматься об использовании альтернативных источников электроэнергии, таких как ветер, солнечное излучение, тепло земных недр. Однако климатические, географические и экономические условия препятствуют их повсеместному использованию.

На этом фоне выглядит привлекательным использование атомной энергетики для покрытия дефицита электроэнергии. При правильной эксплуатации атомная энергия носит звание самой экологически безопасной энергетики, но она же несёт в себе риски связанные с захоронением отработавшего ядерного топлива, а так же иных радиоактивных отходов.

Отработавшее ядерное топливо принято хранить на специальных объектах, одним из первых был плутониевый комбинат № 817 в Челябинской области, известный сегодня, как производственное объединение «Маяк».

Крупная радиационная авария, в настоящий момент она отнесена к третьей по масштабам в истории ядерной энергетики после Чернобыльской аварии и Аварии на АЭС Фукусима I, на объекте произошла 29 сентября 1957 года.

По причине выхода из строя системы охлаждения произошёл взрыв ёмкости объёмом 300 кубических метров, где содержалось около 80 м<sup>3</sup> высокоактивных ядерных отходов.

Взрывом, оцениваемым в десятки тонн в тротиловом эквиваленте, ёмкость была разрушена, бетонное перекрытие толщиной 1 м., весом 160 т. отброшено в сторону, в атмосферу было выброшено около 20 млн. кюри радиоактивных веществ.

Часть радиоактивных веществ были подняты взрывом на высоту нескольких километров и образовали облако, состоящее из жидких и твёрдых аэрозолей. В течение одиннадцати часов радиоактивные вещества выпали в радиусе 300 - 350 км в северо-восточном направлении от места взрыва (по направлению ветра).

В зоне радиационного загрязнения оказалась территория нескольких предприятий комбината «Маяк», военный городок, пожарная часть, колония заключённых и далее территория площадью 23 тыс. км<sup>2</sup> с населением 270 тыс. человек в 217 населённых пунктах трёх областей: Челябинской, Свердловской и Тюменской.

В ходе ликвидации последствий аварии 23 деревни из наиболее загрязнённых районов с населением от 10 до 12 тысяч человек были отселены, а строения, имущество и скот уничтожены. Для предотвращения разноса радиации в 1959 году решением правительства была образована санитарно-защитная зона на наиболее загрязнённой части радиоактивного следа, где всякая хозяйственная деятельность была запрещена, а с 1968 года на этой территории образован Восточно-Уральский государственный заповедник. Сейчас зона заражения именуется Восточно-Уральским радиоактивным следом (ВУРС). Общая длина составляла примерно 300 км, при ширине 5-10 км.

Однако факты о произошедшей масштабной катастрофе были скрыты от населения. Только в начале 90-х годов, спустя более чем 30 лет после аварии, был опубликован первый отчет о случившемся, а целях компенсации нанесённого людям вреда здоровью, появился закон о социальной защите тех, кто пострадал от этой аварии (Федеральный Закон №175).

Однозначно невозможно установить, сколько именно человек пострадало от действия ионизирующего излучения, сколько ещё пострадает. Особенность воздействия радиации на человека состоит в том, что оно обладает стохастическим эффектом, который увеличивает вероятность развития онкологических заболеваний у самого человека, появление мутаций у его потомства.

«Маяк» работает, выполняет оборонный заказ; регенерирует и хранит облученное ядерное топливо с АЭС России. В жилой зоне «Маяка», в городе «Озёрск» в настоящий момент радиационная



обстановка в норме, благодаря изначально продуманному расположению с учётом розы ветров, авария город не затронула.

На территории Восточно-Уральского заповедника уровень радиоактивности всё ещё очень высок, что определяет запрет на его посещение. Однако он активно используется в проведении научных исследований, связанных с воздействием радиации.

#### Библиографический список

1. Дьяков, В.И. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Курс лекций. – Иваново, ИГЭУ. – 2001.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
3. Эхо трагедии: на Урале вспоминают об аварии на химкомбинате «Маяк»  
URL:<http://www.obltv.ru/news/society/ekho-tragedii-na-urale-vspominayut-ob-avarii-na-khimkombinate-mayak/>. (Дата обращения: 26.10.2015).

*М.А. Павлов, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, дсxn, проф  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ТЯЖЕЛЫЙ МЕТАЛЛ КАК ФАКТОР ОПАСНОСТИ

Под загрязнением окружающей среды понимают нежелательные изменения физических, физико-химических и биологических характеристик воздуха, почв, вод, которые могут неблагоприятно воздействовать на здоровье и жизнь человека, на рост, развитие растений и животных, культурные объекты, истощать или портить сырьевые ресурсы. Все эти негативные изменения во многом определяются результатом хозяйственной деятельности человека. Они прерывают или нарушают процессы обмена и круговорота веществ, их ассимиляцию, распределение энергии, в результате меняются свойства окружающей среды, условия существования организмов, снижается продуктивность или же разрушаются экосистемы. Прямо или косвенно такие преобразования воздействуют на человека через биологические ресурсы, воду и продукты. Одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением является загрязнение тяжелыми металлами. Существует более 50 элементов, которые могут быть отнесены к тяжёлым металлам, а 17 из них считаются наиболее токсичными и довольно широко распространенными. Токсичная концентрация зависит от вида металла, его биологической роли и вида организма, который подвергается его воздействию. Тяжёлые металлы как загрязнители окружающей среды — это элементы периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева с относительной

молекулярной массой более 45 ед. Данная группа элементов активно участвует в биологических процессах, входят в состав многих ферментов, витаминов и других необходимых организму соединений, а также участвуют как катализаторы в биохимических реакциях. Группа «тяжелых металлов» во многом совпадает с таким понятием как «микроэлементы» [1].

Необходимо отметить, что тяжелые металлы играют важную роль в биосфере. Металлы, присутствуя в живых организмах в ничтожно малых количествах, выполняют весьма важные функции, входя в состав биологически активных веществ. Соотношение концентраций металлов в организмах выработалось на протяжении всего хода эволюции органического мира. Значительные отклонения от этих соотношений (от нормы) вызывают отрицательные, а часто пагубные последствия для живых организмов. Находясь преимущественно в рассеянном состоянии, они формируют локальные аккумуляции, где их концентрация в сотни, тысячи раз превышает среднепланетарные уровни. Наконец, являясь одним из важных природных ресурсов, непременным условием поддержания и развития современной цивилизации. Следовательно, свинец, цинк, кадмий, ртуть, молибден, хром, марганец, никель, олово, кобальт, титан, медь, ванадий и некоторые другие считаются тяжелыми металлами. Тяжелые металлы, попадая в организм, остаются там надолго, и вывести их можно только при помощи молочного белка и белка белых грибов. Достигая определенной концентрации в организме, они начинают свое негативное воздействие — вызывают отравления, мутации. Кроме того, что сами они отравляют организм человека, они еще и чисто механически засоряют его — ионы тяжелых металлов, оседающие на стенках тончайших проводящих сосудистых систем организма, засоряют каналы почек и печени, таким образом снижают фильтрационную способность этих органов. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду делятся на природные (выветривание горных пород и минералов, эрозийные процессы, вулканическую деятельность) и техногенные (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, работа транспорта и деятельность сельского хозяйства) [2].

Основными источниками антропогенного загрязнения этими металлами являются: тепловые электростанции (27%); предприятия черной (24%) и цветной (10,5%) металлургии; нефтехимическая промышленность (15,5%); автотранспорт (13,3%); производство строительных материалов (8,1%); химическая промышленность (1,3%). Выделение их в окружающую среду на тепловых электростанциях

происходит в основном при сжигании минерального ископаемого топлива. В золе угля и нефти выявлены практически все металлы. В угольной золе, по данным Л.Г. Бондарева (1984), установлено наличие 70 элементов. В 1 т в топлива среднем содержится по 200 г цинка и олова, 300 г кобальта, 400 г урана, по 500 г германия и мышьяка. Максимальное со-держание стронция, ванадия, цинка и германия вместе может достигать 10 кг/т. Зола нефти содержит много ванадия, ртути, молибдена и никеля. В золе торфа находится уран, кобальт, медь, никель, цинк, свинец и многие другие вещества. Следовательно, использование каменного угля в качестве топлива является главным источником поступления многих металлов в окружающую природную среду [3].

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс: coolreferat.com/
2. Электронный ресурс: healthychem.ru/stati/
3. Электронный ресурс: festival.1september.ru/articles/

*В.Ю. Егорова, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, дсxn, проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКСИНОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

Токсины, поражающие нервную систему действуют очень быстро, и человек может умереть, если не оказать ему своевременную помощь. Прежде всего, нужно провести меры по устранению яда. Если это рука, то сам пострадавший может высосать отравленную кровь из ранки, сплевывая ее. В нoге токсины можно выдавить, нажимая с двух сторон вокруг пораженного места. Далее пострадавшему необходимо облегчить боль, поскольку часто она невыносима и это может вызвать обморок или шок. На месте поражения часто возникают некрозы, есть риск повторной инфекции и даже гангрены. Поэтому ранку следует дезинфицировать [1].

Для человека укус обыкновенной гадюки считается потенциально опасным, однако крайне редко приводит к летальному исходу. В состав яда гадюки обыкновенной входят высокомолекулярные протеазы геморрагического, гемокоагулирующего и некротизирующего действия, пептидные гидролазы, гиалуронидазы и фосфолипазы, которые в момент укуса через лимфатические узлы

попадают в кровеносную систему. Около 70 % укушенных либо не испытывают каких-либо симптомов вообще, либо чувствуют жгучую боль непосредственно в области укуса. Нередко вокруг ранки развивается покраснение и опухоль — геморрагический отёк. При более тяжёлой степени интоксикации в течение 15—30 мин возможны головокружение, тошнота, рвота, диарея, побледнение кожи, повышенное потоотделение, озноб и тахикардия. Наконец, при особо повышенной чувствительности могут наступить потеря сознания, отёчность лица, значительное падение кровяного давления, обильное кровотечение (ДВС-синдром), почечная недостаточность, судорожное или коматозное состояние. В подавляющем большинстве случаев последствия укуса исчезают через 2—4 дня, но могут растянуться на более продолжительный срок — вплоть до года. К осложнениям может привести неправильное самостоятельное лечение. В качестве доврачебной помощи при укусе врачи рекомендуют успокоиться, наложить давящую повязку (но не жгут), уменьшить на-грузку на конечность вплоть до обездвиживания, обеспечить обильное питье. Мнения о пользе отсасывания яда из ранки разделились: часть специалистов полагает, что при этой процедуре в течение 10—15 мин можно удалить до 30—50 % всего яда, другая считает ее вредной, поскольку в кровь вместе со слюной может попасть бактериальная флора, вызывающая гнойное воспаление. Из неправильных и ошибочных, но всё ещё встречающихся способов лечения, бывает нанесение поперечных разрезов на место укуса, прижигание, накладывание жгу-та, обкладывание снегом. Среди лесных обитателей главные враги гадюк — ежи, обладающие иммунитетом к змеиному яду. Еж использует следующую тактику при нападении: кусает змею за тело и не замедленно сворачивается в клубок, подставляя свои иголки для ответного удара. На змей также охотятся обыкновенная лисица, барсук, хорьки, совы, орлы-змееяды и реже аисты [2].

Скорпионы встречаются главным образом в жарком поясе и в более тёплых областях умеренного пояса — на юге Европы, в Крыму, на российском Северном Кавказе, в Закавказье, Средней Азии и т.д. Их находили практически на всех участках суши, за исключением Арктических островов. В Европе они встречаются в Германии, а такой вид, как *Euscorpis flavicaudis*, был обнаружен даже на Британских островах. Днём они скрываются под камнями, в расщелинах скал и т. д. и только ночью выходят охотиться. Они бегают быстро, загнув заднебрюшие вверх и наперёд. Питаются скорпионы насекомыми и паукообразными. Они захватывают добычу клешнями, приподнимая добычу вверх над головогрудью и убивают укусом иглы (жала),

находящаяся на заднем конце заднебрюшия. Ужаление скорпиона чрезвычайно болезненно, но для подавляющего большинства видов безвредно, однако некоторые виды скорпионов представляют опасность и даже способны вызвать смертельный исход, особенно у детей. Действующим началом яда скорпионов являются нейротоксические полипептиды с ярко выраженной видовой специфичностью. Укус действует очень быстро — у человека появляется жгучая боль уже через 10—15 мин, распространяясь по всему телу. Обычно больные жалуются на невыносимые боли в области живота, поясницы, грудной клетки. Характерно резкое напряжение мышц брюшного пресса. Среди симптомов общего отравления: одышка, сердцебиение, учащение пульса, головная боль, головокружение, тремор, рвота, бледность или гиперемия лица, потливость, чувство тяжести в грудной или подложечной областях и т.д. [3].

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org>
2. Электронный ресурс: [ru.wikipedia.org/wiki/...](https://ru.wikipedia.org/wiki/...)
3. Электронный ресурс: [ru.wikipedia.org/wiki/Скорпионы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Скорпионы)

*А.С. Зеленова, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, дсxn, проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПАСНОСТЬ МИКОТОКСИНОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

Пищевые микотоксикозы — это заболевания, возникающие при употреблении продуктов переработки зерна, овощей, фруктов, зараженных токсичными веществами микроскопических грибов.

Плесень — неизбежное зло и постоянный спутник сельскохозяйственной деятельности человека. Биологически активные вещества, вырабатываемые плесневыми грибами человек научился использовать во благо себе. Классическим примером является антибиотик пенициллин, впервые полученный из плесневого грибка рода Пенициллиум. В некотором смысле он является также микотоксином. Микотоксины — это ядовитые вещества, вырабатываемые плесневыми грибами в определённых условиях. Они направлены на подавление деятельности других форм микроскопической жизни, но для самого грибка не несут никакой опасности. В результате отравления микотоксинами у чело-века

развиваются остеопороз и деформирующий остеоартроз — заболевания суставов и хрупкость костей. Но большой масштаб проблем микотоксины приобрели относительно недавно. Многие учёные связывают это с интенсификацией земледелия и повсеместным применением пестицидов и фунгицидов, которые нарушают естественный природный баланс.

Среди многочисленных факторов окружающей среды токсичные вещества — микотоксины, синтезируемые микроскопическими грибами, в последние годы привлекают все большее внимание. **Микотоксинами** называют ядовитые продукты обмена веществ (метаболизма) плесневых грибов, образующиеся на поверхности пищевых продуктов и кормов. Токсикогенные грибы чрезвычайно широко распространены в природе и при благоприятных условиях (повышенные влажность и температура), они могут поражать различные пищевые, кормовые, производственные вещества и наносить существенный урон народному хозяйству. Потребление продуктов и кормов, загрязнённых (загрязнённых микроорганизмами) этими грибами и их микотоксинами, **может сопровождаться тяжёлыми заболеваниями человека и сельскохозяйственных животных — микотоксикозами [1].**

Причиной микотоксикозов у человека и животных могут быть микотоксины, содержащиеся в продуктах питания, концентрированных, грубых и сочных кормах, поражённые различными патогенными и плесневыми грибами. Микотоксикозы чаще всего протекают хронически, так как продукты жизнедеятельности различных микроскопических грибов накапливаются в органах и тканях человека, и животных при длительном употреблении продуктов питания, скармливании недоброкачественных кормов. Микотоксины в организм животных поступают только с растительными кормами, но и с кормами, содержащими отходы молока, фруктов, овощей, орехов, семян масличных культур. Определить понятие микотоксины весьма сложно, поскольку их действие не ограничивается только влиянием на животных и человека, а распространяется также на растения, простейшие, насекомых, микроорганизмы, вирусы, то есть понятие микотоксины интерферирует с понятием антибиотиков, которые, в свою очередь, оказывают действие не только на микроорганизмы. Микотоксины являются важнейшими вторичными метаболитами микроскопических грибов, которые признаны одними из наиболее вредных для здоровья человека и животных существ. И не случайно

они введены в перечень регламентации в пищевых продуктах, кормах и сырье веществ [2].

Существует три важных механизма действия микотоксинов.

Во-первых, это нарушение концентрации, абсорбции и обмена в организме питательных веществ. Во-вторых, это изменения в эндокринной и нейроэндокринной системах. В-третьих, и это самое важное — подавление иммунной системы человека и животного. Усложняет диагноз микотоксикозов вторичные симптомы, вызванные условно-патогенными возбудителями заболеваний вследствие подавления иммунной системы при воздействии микотоксинов. Известно около 240 токсичных плесневых грибов. Из плесеней, развивающихся на пищевых продуктах, примерно 60–75% следует рассматривать как токсичные или очень токсичные. У человека и животных клинические картины микотоксикозов общие и соответствуют следующим чертам: микотоксины не передаются от человека к человеку или от животного к животному; применение антибиотиков или лекарственных препаратов минимально эффективно, или вообще не оказывает воздействие на ход заболевания. Вспышки болезни часто носят сезонный характер — они обычно связаны с конкретной специфической пищей или кормом, на степень поражения часто влияют вид, возраст, пол биологического объекта [3].

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс: [phytomed.org/mikotoksiny-v](http://phytomed.org/mikotoksiny-v)
2. Электронный ресурс: [ru.wikipedia.org/wiki/](http://ru.wikipedia.org/wiki/)
3. Электронный ресурс: [biofile.ru/bio/20423.html](http://biofile.ru/bio/20423.html)

*А.С. Волков, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, дсxn, проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Жизнь на нашей земле возникла, развивалась и продолжается в условиях воздействия слабых электромагнитных полей (ЭМП) естественного происхождения, источниками которых являются излучения Солнца и магнитные свойства Земли, грозовые разряды и прочие. Эти поля, являясь постоянно действующим экологическим фактором с изменяющимся уровнем интенсивности, оказывают определенное влияние на жизнедеятельность человека, животных и растений.

Исследования многих авторов свидетельствуют о том, что за последнее время суммарная напряженность ЭМП антропогенного происхождения на различных участках земной поверхности возросла по сравнению с естественным фоном от 2 до 5 порядков. В первую очередь, вблизи высоковольтных линий электропередач, радио и телестанций, средств радиолокации, различных энергетических и энергоемких установок промышленного, медицинского и бытового назначения. В результате чего резко увеличилась потенциальная опасность этого физического фактора и риск для здоровья широких слоев населения. Проблема электромагнитной безопасности особенно обострилась в настоящее время в связи с массовым внедрением в повседневную жизнь телевизоров, персональных компьютеров, мобильных средств радио-телефонной и космической связи, разнообразных электрических и электронных изделий медицинского и бытового назначения [1].

Общепризнана точка зрения, что техногенные ЭМП могут играть заметную этиологическую роль в эпидемиологии нервно-психических, сердечно-сосудистых, онкологических, офтальмологических и ряда других заболеваний. Они могут оказывать неблагоприятное воздействие на генетические структуры, эндокринную и иммунную системы организма, функции воспроизводства потомства. Имеются данные о повышенной чувствительности детей, беременных женщин и больных людей к ЭМП даже малой интенсивности. В связи с этим Всемирная организация здравоохранения включила электромагнитное загрязнение среды в число наиболее важных экологических проблем, на решение которой направлены усилия ученых во всем мире. Особенно интенсивно ведутся научные исследования в этой области в России, США, Германии, Швеции, Англии, Японии и ряде других стран. Работы специалистов разных стран по решению этой проблемы рассматриваются в рамках международных организаций: Всемирной организации здравоохранения, Международного комитета по защите от неионизирующих излучений и Европейского комитета по электромагнитной совместимости. Отсюда вполне понятно, почему в последние годы резко возросло число исследований и публикаций по вопросам электромагнитной биологии, медицины, экологии и гигиены. Очевидно, что на данном этапе медико-биологических исследований необходимо иметь четкие представления об энергетической, сигнальной и информационной роли ЭМП, их регулирующем, стабилизирующем и дестабилизирующем влиянии на биологические системы, принципах их гигиенической регламентации, степени



опасности для основных био-физиологических процессов, протекающих в организме человека [2].

Электромагнитное поле радиочастот характеризуется способностью нагревать материалы и распространяться в пространстве, отражаться от границы раздела двух сред и взаимодействовать с веществом. При оценке условий труда учитываются время воздействия ЭМП и характер облучения работающего персонала. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект во многом зависит от физических параметров ЭМП радиочастот: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани. Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границах раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. При воздействии ЭМП на биологический объект происходит преобразование электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик, стекловидное тело, семенники и другие органы). Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения. Действие ЭМП радиочастот на центральную нервную систему при плотности потока энергии более  $1 \text{ мВт/см}^2$  свидетельствует о ее высокой чувствительности к нему. Изменения в крови наблюдаются при ППЭ выше  $10 \text{ мВт/см}^2$ , проявляются и многие другие заболевания [3].

#### **Библиографический список**

1. Электронный ресурс: [it-med.ru/library/ie/el\\_magn](http://it-med.ru/library/ie/el_magn)
2. Электронный ресурс: [coolreferat.com](http://coolreferat.com)
3. Электронный ресурс: [nsp-zdorovje.narod.ru/eko/f](http://nsp-zdorovje.narod.ru/eko/f)

*Д.В. Шишкина, студ.; рук. К.В. Чернов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВАРИОФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПРИМЕНЕНИИ ВОДОРОДА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Водород, представляющий собой горючий газ с повышенной теплопроводностью, производится методом электролиза и применяется на тепловых электростанциях в качестве охлаждающей среды.

Газовая сеть охлаждения турбинных электрогенераторов заполняется водородом от централизованной установки. Одно из сооружений водородной установки, которое может стать источником техногенных взрывных воздействий, – это ресивер.

Задача научного исследования проблемы техногенной безопасности при эксплуатации водородной установки решается с использованием системно-логического приёма, называемого вариофикацией. Вариофикация предусматривает отыскание и раскрытие всех возможных сочетаний технетических процессов, событий и происшествий, приводящих к техногенным взрывным воздействиям послекритического уровня, источником которых может стать ресивер с водородом.

Детерминированные технетические процессы, в которых участвует водород, следующие: перемещение при заполнении, опорожнении и продувках ресивера; взаимодействие окисляющих компонентов с металлической стенкой ресивера с образованием коррозионных соединений; нагрев или охлаждение теплотой внешней среды; образование газовых смесей при продувках и др.

Стохастические технетические происшествия и процессы, которые возможны при эксплуатации ресивера с водородом, следующие: образование в ресивере водородно-воздушной смеси при продувках; разгерметизация наружных водородопроводов и арматуры; утечка водорода; горение водорода, истекающего из наружных трубопроводов и арматуры; электризация частиц коррозии; возникновение искровых разрядов статического электричества и др. Вариофикационная модель причин инициирования взрыва и последствий взрыва визуализирует каскадно-цепное протекание технетических процессов в ресивере, начинаемых и перемежаемых событиями и происшествиями, совокупность которых приводит к

возникновению техногенных происшествий, начинающих процессы техногенных взрывных воздействий. Создаваемая вариофикационная модель может служить основой для выработки мероприятий по управлению риском.

*А.В. Харламов, студ.; рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ОПАСНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

Трансформаторные масла — минеральные масла высокой чистоты и низкой вязкости. Применяются для заливки силовых и измерительных трансформаторов, реакторного оборудования, а также масляных выключателей. Предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов силового трансформатора, отвода тепла от нагреваемых при работе трансформатора частей, а также предохранения изоляции от увлажнения.

С воздействием на трансформаторное масло разрядов высокого напряжения или дуги приходится встречаться при работе масляных выключателей, контакторов устройств для переключения трансформаторов под нагрузкой, а также в случае аварийных режимов, которые могут иметь место при эксплуатации маслонаполненного оборудования высокого напряжения (кратковременный пробой, более или менее длительное горение дуги и т.д.). Рассмотрим поведение трансформаторных масел в таких условиях.

Электрическая дуга, возникающая в масле, как известно, представляет собой один из видов газового разряда. Она отличается высокой температурой, большой плотностью тока и сравнительно низким падением напряжения. Для дуги в масле, т. е. для газового пузыря, образованного продуктами разложения масла, напряжение на единицу длины дугового столба составляет 5—10 кВ/м. Принципиально для гашения дуги надо создать условия интенсивной деионизации промежутка. При этом проводимость дуги падает, что приводит к ее погашению. После угасания дуги пространство между электродами должно быстро восстанавливать свои изоляционные свойства, чтобы не произошло пробоя промежутка и повторного зажигания дуги.

При горении в масле дуги в нем образуются продукты глубокого разложения углеводов. Прежде всего, это газы, большинство из которых могут образовывать с воздухом горючие и взрывоопасные

смеси. В таблице приводятся данные по составу газа, образующегося при работе масляных выключателей.

**Таблица. Состав газа, выделяющегося при работе масляных выключателей**

Газ	Состав, % объемных	Температура самовоспламенения, °С (при 0,1 МПа в воздухе)	Процентное содержание газа в смеси с воздухом (по объему при 0,1 МПа и 20 °С), соответствующее	
			пределу горючести	максимальной скорости распространения пламени
Водород	70	510	4,0-75,2	38,5
Ацетилен	10-25	336	2,5-80,0	10,0
Метан	3-10	695	5,0-15,0	9,8
Этилен	2-3	540	2,7-28,6	6,5
Высшие олефины	Следы	-	-	-

Кроме газа в результате разложения масла образуются низкокипящие жидкие углеводороды. Эти продукты, а также газ, выделяющийся при горении дуги в масле и частично в нем растворенный, приводят к снижению температуры вспышки масла, например, со 145 до 50—80 °С.

Многие повреждения или отклонения от нормального состояния вообще никак не проявляются при внешнем осмотре трансформаторов. Особенно это относится к начинающимся внутренним повреждениям. Значительная часть внутренних повреждений может быть определена проверкой состояния трансформаторного масла. Такие внутренние повреждения, как местные перегревы, частичные разряды (в масле или твердой изоляции), незначительное искрение в контактных соединениях и т.п., так или иначе, сказываются на свойствах трансформаторного масла. Изменение его характеристик происходит также при увлажнении, загрязнении, попадании воздуха или другого газа и, наконец, в результате естественного старения самого масла. Поэтому необходимы периодические отборы проб для анализа и заблаговременного, до возникновения аварийных ситуаций, выявления возможного ухудшения качества трансформаторного масла.

М.В. Тимаев, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКСИЧНОГО ВЕЩЕСТВА НА ЧЕЛОВЕКА

Для изучения процессов локального заражения атмосферы при выбросе токсичного вещества используется математическая модель процесса переноса ядовитого вещества в атмосфере [1]. Расчет выполнен для аварийной ситуации, при которой произошел разрыв технологического трубопровода с аммиаком [2]. Избыточное давление в трубопроводе составляло 50 кПа, диаметр трубопровода 100 мм. В результате утечки в атмосферу ядовитого аммиака, ветрового переноса и атмосферной диффузии образовалась зона заражения. Расчет позволяет определить размеры зоны заражения, в которой значение токсической дозы выше пороговой.

1. Рассчитывается критическое давление ( $P_{ИСТ}^{KP}$ ) при истечении газа:

$$P_{ИСТ}^{KP} = \frac{P_0}{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}} = \frac{101,3}{\left(\frac{2}{1,31+1}\right)^{\frac{1,31}{1,31-1}}} = 186,238 \text{ кПа},$$

где  $P_0$  – атмосферное давление,  $k$  – показатель адиабаты для газа.

2. Определяется секундное количество истекающего газа ( $G_T$ ):

$$G_T = F_{ОТВ} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot P_1 \cdot \rho_1 \cdot \left[ \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} =$$

$$= 0,0079 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,31}{1,31-1} \cdot 151,3 \cdot 1000 \cdot 1,06 \cdot \left[ \left(\frac{101,3}{151,3}\right)^{\frac{2}{1,31}} - \left(\frac{101,3}{151,3}\right)^{\frac{1,31+1}{1,31}} \right]} = 2 \text{ кг/с},$$

где  $F_{ОТВ}$  – площадь отверстия,  $P_1$  – абсолютное давление газа,  $\rho_1$  – плотность газа при давлении в газопроводе.

3. Рассчитывается скорость истечения газа ( $\omega_{ист}$ ) из трубопровода:

$$\omega_{ист} = \frac{G_T}{\rho_1 \cdot F_{ОТВ}} = \frac{2}{1,06 \cdot 0,0079} = 243,8 \text{ м/с}.$$

4. Определяется стандартное отклонение распределения примеси в облаке выброса в направлении оси Y ( $\sigma_Y$ ):

$$\sigma_Y = c_3 \cdot x \cdot \sqrt{1 + 0,0001 \cdot x} = 0,22 \cdot 300 \cdot \sqrt{1 + 0,0001 \cdot 300} = 66,98 \text{ м},$$

где  $c_3$  – коэффициент, зависящий от класса устойчивости атмосферы по Паскуиллу,  $x$  – расстояние от точки выброса до расчётной точки.

5. Рассчитывается стандартное отклонение распределения примеси в облаке выброса в направлении оси  $Z$  ( $\sigma_z$ ).

6. Определяется фактор разбавления  $F(x, y, 0)$  в облаке выброса для концентраций на уровне земли.

7. Рассчитывается концентрация газа  $C(x, y, 0)$  в точке:

$$C(x, y, 0) = G_T \cdot F(x, y, 0) = 2 \cdot 0,00003624 = 0,00007329 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

8. Определяется токсическая доза ( $D$ ) при определенном времени ингаляции ( $\tau_3$ ) зараженного воздуха:

$$D = \tau_3 \cdot C(x, y, 0) = 3 \cdot 60 \cdot 0,00007329 \cdot 10^6 = 13192,2 \text{ мг} \cdot \text{мин} / \text{м}^3.$$

9. Рассчитывается зона заражения, в которой значение токсической дозы выше пороговой, путем определения полуширины зоны заражения ( $Y_{\text{порог}}$ ).

Рассчитав  $Y_{\text{порог}}$  для различных расстояний  $x$  от точки выброса, строится зона заражения (рис. 1).

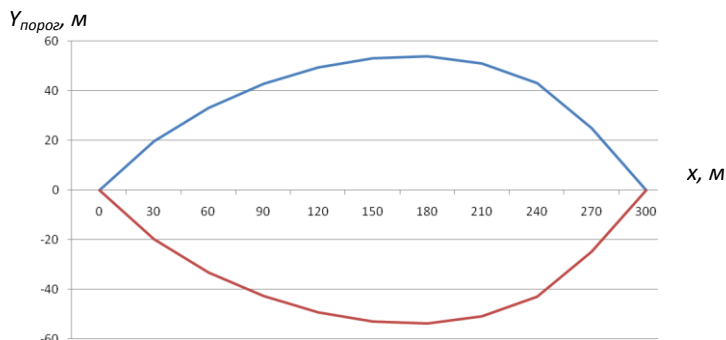


Рис. 1. Размеры зоны заражения

Таким образом, расчет позволяет определить значения параметров (концентрации и дозы) для оценки воздействия токсичного вещества на человека и размеры зоны заражения.

#### Библиографический список

1. **Руководство** по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (утв. Приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 № 158).
2. **Чернов К.В.**, Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Ивановский государственный энергетический университет. – Иваново: Б.и., 2001. – 116 с.

А.А. Дроздов, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

В работе исследуются параметры внешнего облучения на территории, загрязненной в результате радиационной аварии. Расчет выполняется для радиоактивного загрязнения участка поверхности земли определенным количеством нуклидов ( $m = 10$  г). Содержание ( $P$ ) в массе нуклидов цезия/бария-137 – 50 % и цезия-134 – 50 %.

Алгоритм расчёта параметров включает девять этапов.

1. Рассчитывается для каждого нуклида, исходя из известной массы ( $M$ ), величина активности ( $A$ ) для равномерно загрязненной поверхности:

$$A = 1,32 \cdot 10^{16} \cdot \frac{M}{C_A \cdot T_{1/2}} \text{ Бк},$$

где  $M$  – масса радионуклида, г;

$C_A$  – атомная масса, г/моль;

$T_{1/2}$  – период полураспада, год.

Для цезия/бария-137:

$$M = \frac{P}{100} \cdot m = \frac{50}{100} \cdot 10 = 5 \text{ г}; \quad C_A = 137 \text{ г/моль}; \quad T_{1/2} = 30,17 \text{ года},$$

$$A = 1,32 \cdot 10^{16} \cdot \frac{5}{137 \cdot 30,17} = 1,59 \cdot 10^{13} \text{ Бк}.$$

Для цезия-134 рассчитывается аналогично.

2. Определяется для каждого радионуклида величина мощности керма ( $\dot{K}$ ) в расчетной точке от поверхностного источника:

$$\dot{K} = 4 \cdot \pi \cdot \Gamma \cdot \frac{A}{S_3},$$

где  $\Gamma$  – гамма-постоянная, (Гр·м<sup>2</sup>)/(с·Бк);

$S_3$  – площадь зоны, м<sup>2</sup>.

3. Рассчитывается суммарная мощность керма ( $\dot{K}_\Sigma$ ):

$$\dot{K}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \dot{K}_i = 5,44 \cdot 10^{-9} + 2,19 \cdot 10^{-7} = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ Гр/с},$$

где  $\dot{K}_i$  – мощность керма  $i$ -го радионуклида.

4. Определяется доза керма за время пребывания в загрязненной зоне.

5. Рассчитывается поглощенная доза ( $D$ ) за время пребывания в расчетной точке зоны загрязнения:

$$D = K_{\Sigma} \cdot 0,99 = 0,0386909 \cdot 0,99 = 0,0383 \text{ Гр},$$

где  $K_{\Sigma}$  – суммарная доза керма радионуклидов, Гр.

6. Определяется эквивалентная доза за время пребывания в зоне загрязнения.

7. Рассчитывается годовая поглощенная и годовая эквивалентная дозы при активности, соответствующей началу загрязнения территории с учетом распада биологического выведения радионуклидов.

8. Определяется мощность поглощенной дозы при спаде активности нуклидов.

9. Рассчитываются дозовые характеристики внешнего облучения при спаде активности нуклидов за указанный период времени.

В частности, доза керма ( $K'$ ) радионуклида за время нахождения в зоне облучения после спада активности, Гр:

$$K' = \frac{\dot{K}^{спад}}{\lambda_{\text{эф}}} \cdot \left( 1 - e^{-\lambda_{\text{эф}} t_{\text{облучения}}^{спад}} \right),$$

где  $\dot{K}^{спад}$  – мощность керма радионуклида через продолжительный период времени, Гр/с;

$\lambda_{\text{эф}}$  – эффективная постоянная распада, с<sup>-1</sup>;

$t_{\text{облучения}}^{спад}$  – время нахождения в зоне облучения после спада активности.

В табл. 1 представлены рассчитанные значения параметров.

**Таблица 1 - Рассчитанные значения параметров**

Наименование параметра	Символ	Значение
Суммарная мощность керма радионуклидов	$\dot{K}_{\Sigma}$	2,24·10 <sup>-7</sup> Гр/ с
Поглощенная доза за 48 часов нахождения в зоне	D	0,0383 Гр·с
Эквивалентная доза за 48 часов нахождения в зоне	H	0,0417 Зв
Годовая поглощенная доза	Dгод	5,85 Гр
Эквивалентная доза за год	Hгод	6,38 Зв
Мощность поглощенной дозы через 10 лет	$\dot{D}^{спад}$	2,45·10 <sup>-8</sup> Гр/с
Суммарная мощность керма через 10 лет	$\dot{K}_{\Sigma}^{спад}$	2,47·10 <sup>-8</sup> Гр/с
Поглощенная доза за 14 суток после спада активности	D'	0,029 Гр
Эквивалентная доза за 14 суток после спада активности	H'	0,032 Зв
Годовая поглощенная доза после спада активности	D'год	0,68 Гр
Эквивалентная доза за год после спада активности	H'год	0,74 Зв



Расчитанные значения параметров позволяют оценить воздействие внешнего гамма-излучения на человека и сформулировать рекомендации по времени нахождения в загрязненной зоне.

#### Библиографический список

1. Чернов, К.В. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Ивановский государственный энергетический университет. – Иваново: Б.и., 2001. – 116 с.

*Е.А. Головцева, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

В процессе трудовой деятельности, осуществляемой в производственной среде, работник подвергается воздействию опасных и вредных производственных факторов, которые могут при определенных условиях наносить ущерб жизни и здоровью человека, а так же вызывать различные нежелательные последствия.

Вредным производственным фактором называют, производственный фактор, воздействие которого на работника в определенных условиях может привести к заболеванию или снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства, а опасным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего при определенных условиях может привести к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья или смерти.

Вредные и опасные факторы оказывают негативное воздействие на работников в том случае, если их уровни воздействия превышают предельно допустимые уровни:

$$H_{расч} > ПДУ ,$$

где  $H_{расч}$  – расчетное значение уровня воздействия вредного или опасного фактора, ПДУ – предельно допустимый уровень воздействия вредного или опасного фактора.

Для оценки уровней воздействия, сравнения их с допустимыми уровнями и для установления способов защиты от таких вредных производственных факторов, как шум и вибрация используют их логарифмические уровни.

Для шума:

$$L_D = 10 \lg(P/P_0) \quad \text{и} \quad L_M = 20 \lg(I/I_0) ,$$

где  $L_D$  и  $L_I$  – логарифмические уровни звукового давления и интенсивности звука, дБ соответственно;

$P$  и  $I$  – среднеквадратичная величина звукового давления,  $P_a$  и среднеквадратичная величина интенсивности звука,  $W/m^2$  соответственно;

$P_0$  и  $I_0$  – опорные значения звукового давления в воздухе,  $P_a$  и величины интенсивности звука,  $W/m^2$  соответственно.

Для вибрации:

$$L_v = 20 \lg(v / 5 \cdot 10^{-8}) \text{ и } L_a = 20 \lg(a / 10^{-6}),$$

где:  $L_v$  и  $L_a$  – логарифмические уровни виброскорости и виброускорения, дБ соответственно;

$v$  – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с;

$a$  – среднее квадратическое значение виброускорения,  $m/s^2$ .

Эквивалентный по энергии скорректированный уровень, являющийся одночисловой характеристикой непостоянной вибрации, рассчитывается путем усреднения фактических уровней с учетом времени действия каждого:

$$L_{э\text{кв}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{L_i \cdot 0.1} \cdot t_i \right)$$

где  $L_i$  – фактическое значение вибрации, дБ;

$t$  – время действия вибрации, ч;

$T$  – общее время действия вибрации, ч;

$n$  – общее число интервалов действия вибрации.

В табл. 1 представлены рассчитанные значения уровней вибрации на рабочем месте слесаря по ремонту гидротурбинного оборудования.

**Таблица 1 – Уровни вибрации в зависимости от времени воздействия**

Источник, место пров. измерений	Продолжит. воздействия	Ось	Фактическое значение, дБ	Экв. коррект. уровень, дБ	Нормативное значение, дБ
Работа технологического оборудования, машинный зал	2 часа 45 минут	X	92	По оси X: 98,9	112
		Y	94		112
		Z	95	По оси Y: 100	115
Работа технологического оборудования, турбинный зал	1 час 30 минут	X	103	По оси Z: 101	112
		Y	104		112
		Z	105	115	

В производственных помещениях необходимо поддержание нормативных значений метеорологических параметров. Одним из способов является правильное функционирование систем вентиляции. Эффективность вентиляции  $L$ ,  $m^3/ч$  может быть рассчитана по кратности воздухообмена.

Процесс развития и организация развития производств должны сопровождаться улучшением условий труда работников, что достигается установлением и применением установок для создания искусственного микроклимата в помещениях и сооружениях промышленного и бытового назначения, а так же снижением и ограничением уровней воздействия опасных и вредных факторов на работников.

#### Библиографический список

1. Соколов, А.К. Безопасность и экологичность технических объектов. Проектирование: учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Б.и., 2009. – 132 с.

*О.С. Тарасова, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА НА ЧЕЛОВЕКА

Для оценки возможного поражающего действия взрыва на человека необходимо определить параметры ударной волны. Расчет выполнен для случая, когда происходит взрыв резервуара со сжатым нереагирующим газом [1]. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

**Таблица 1 - Исходные данные для расчета**

Наименование параметра	Символ	Значение
Диаметр цилиндрического резервуара с газом	$d$	0,205 м
Длина цилиндрического резервуара с газом	$l$	1,39 м
Показатель адиабаты для газа в резервуаре до взрыва	$k_{\Gamma}$	1,3
Избыточное давление сжатого газа в резервуаре в момент взрыва	$p_1$	23000 кПа
Плотность газа при нормальных условиях	$\rho_{\Gamma}$	1,43 кг/м <sup>3</sup>
Температура воздуха	$t$	20 °С
Коэффициент перехода	$k_{\text{вв}}$	0,9
Расстояние от центра взрывной системы до приёмника	$R_{\text{пр}}$	3 м

Расчет параметров ударной волны осуществляется за семь шагов.

1. Определяется значение энергии ( $E_{\text{п}}$ ) аварийного взрыва резервуара с нереагирующим газом высокого давления:

$$E_{\text{п}} = \frac{p_1}{k_{\Gamma} - 1} \cdot V_{\Gamma} = \frac{23000}{1,3 - 1} \cdot 0,045879 = 3517,39 \text{ кДж},$$

где  $V_{\Gamma}$  – объём сосуда с газом.

2. Вычисляется значение ТНТ-эквивалента ( $W_{\text{ТНТ}}$ ) взрыва:

$$W_{\text{ТНТ}} = \frac{E_{\text{П}}}{Q_{\text{ТНТ}}} = \frac{3517,39}{4180} = 0,841 \text{ кж},$$

где  $Q_{\text{ТНТ}}$  – удельная энергия взрывчатого разложения тротила.

3. Рассчитывается значение избыточного давления воздуха ( $p_s$ ) на фронте ударной волны для заданного расстояния ( $R_{\text{пр}}$ ) от источника взрыва до приемника:

$$p_s = \frac{P_0}{\left(0,6 \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + 29,847755 \cdot R_s^3}\right)\right)} =$$

$$= \frac{101,3}{\left(0,6 \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + 29,847755 \cdot 0,9524^3}\right)\right)} = 40,4318 \text{ кПа},$$

где  $P_0$  – атмосферное давление,  $R_s$  – безразмерное расстояние.

4. Определяется скорость частиц воздуха ( $v_s$ ), движущихся за фронтом волны.

5. Рассчитывается скорость движения фронта ( $D$ ), ударной волны.

6. Определяется время ( $T$ ) перемещения волны от центра взрывной системы до приемника.

$$T = \tau \cdot T_0 = 0,3756501 \cdot 0,01125 = 0,00422 \text{ с},$$

где  $\tau$  – безразмерная величина времени, определяется с помощью итерационного цикла на ЭВМ,  $T_0$  – динамический параметр времени [1].

7. По вычисленным значениям рассчитываются удельный положительный импульс ( $i_s$ ), длительность фазы сжатия ( $\tau_s$ ), динамический напор ( $p_{ск}$ ) воздушного потока, относительное избыточное давление ( $P_{\text{отн}}$ ) и другие параметры:

$$i_s = 0,04444 \cdot \frac{P_0 \cdot X_0}{C_1 \cdot R_s} = 0,04444 \cdot \frac{101,3 \cdot 1000 \cdot 3,1498}{331,1841 \cdot 0,9524} = 44,949 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

где  $X_0$  – динамический параметр,  $C_1$  – скорость звука;

$$\tau_s = \frac{2 \cdot i_s}{p_s} = \frac{2 \cdot 44,949}{40,4318 \cdot 1000} = 0,00222 \text{ с};$$

$$p_{ск} = 0,5 \cdot \rho_s \cdot v_s^2 = 0,5 \cdot 1,7709 \cdot 108,694^2 = 10461,18 \text{ Па}.$$

В табл. 2 представлены рассчитанные значения параметров.

**Таблица 2 - Рассчитанные значения параметров для оценки воздействия взрыва**

Наименование параметра	Символ	Значение
Избыточное давление на фронте ударной волны	$p_s$	40,4318 кПа
Удельный положительный импульс	$i_s$	44,949 Па·с
Относительное избыточное давление на фронте ударной волны	$P_{отн}$	0,3991
Импульс фазы сжатия, приведённый к атмосферному давлению и массе тела человека	$\bar{i}_s'$	$0,034\sqrt{Pa \cdot c/\sqrt[3]{кг}}$
Импульс фазы сжатия, приведённый к массе тела человека	$\bar{i}_s''$	$10,9 Pa \cdot c/\sqrt[3]{кг}$
Уровень звука у приёмника ударной волны	$L_p$	186,11дБА

На основе анализа рассчитанных параметров формулируется вывод о возможных последствиях техногенного взрыва. В рассматриваемом случае для человека существует 50 % вероятность разрыва барабанной перепонки. Летальный исход вследствие поражения при тормозящем ударе головой или другими частями тела маловероятен. Также маловероятно поражение органов дыхания.

#### Библиографический список

1. **Чернов, К.В.** Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Ивановский государственный энергетический университет. – Иваново: Б.и., 2001. – 116 с.

*А.А. Шаулова, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Исследование изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы позволяет судить об адаптации организма к выполненной нагрузке или определенному воздействию на организм.

Среди наиболее информативных и доступных в прикладной физиологии индикаторов неблагоприятного воздействия физической и нервно-психической нагрузок, физических, химических и других факторов среды широкое распространение получили количественные и качественные показатели сердечно-сосудистой системы.

В поставленной задаче используется минимальный (обязательный) вариант комплексного исследования системы кровообращения и ее регуляции, включающий пульсометрию и артериальную тонометрию.

Для выявления скрытых нарушений функционирования и резервных возможностей сердечно-сосудистой системы и системы

внешнего дыхания используются дозированные нагрузки (тесты) с анализом результатов пульсометрии, артериальной тонометрии и электрокардиографии в ответ на нагрузку, а также восстановительных реакций.

По данным систолического и диастолического артериального давления (АД) рассчитывают гемодинамические показатели, по изменению которых можно составить косвенное представление о работе сердца, степени тяжести и напряженности труда.

Для оценки тренированности сердечно-сосудистой системы к выполнению физической нагрузки, оценки ее резервных возможностей используются следующие показатели:

коэффициент выносливости (КВ), рассчитываемый по формулам Руфье:

$$КВ = \frac{(ЧСС_{п} + ЧСС_1 + ЧСС_2) - 200}{10},$$

либо Руфье-Диксона:

$$КВ = \frac{(ЧСС_1 - 70) + (ЧСС_2 - ЧСС_{п})}{10},$$

где ЧСС<sub>п</sub> – исходный пульс покоя, ударов/мин;

ЧСС<sub>1</sub> – пульс за первые 10 с первой минуты после нагрузки, ударов/мин;

ЧСС<sub>2</sub> – пульс за последние 10 с первой минуты после нагрузки, ударов/мин.

Показатель качества реакции (ПКР)

$$ПКР = \frac{ПД_2 - ПД_1}{ЧСС_1 - ЧСС_2},$$

где ПД<sub>1</sub>, ЧСС<sub>1</sub> и ПД<sub>2</sub>, ЧСС<sub>2</sub> – пульсовое давление и пульс до и после нагрузки соответственно.

Для автоматизации обработки данных измерений и сравнения рассчитываемых гемодинамических показателей была использована программа Microsoft Office Excel, с помощью которой разработана электронная таблица, позволяющая также графически представить результаты реакции сердечно-сосудистой системы на дозированную нагрузку (рис.).

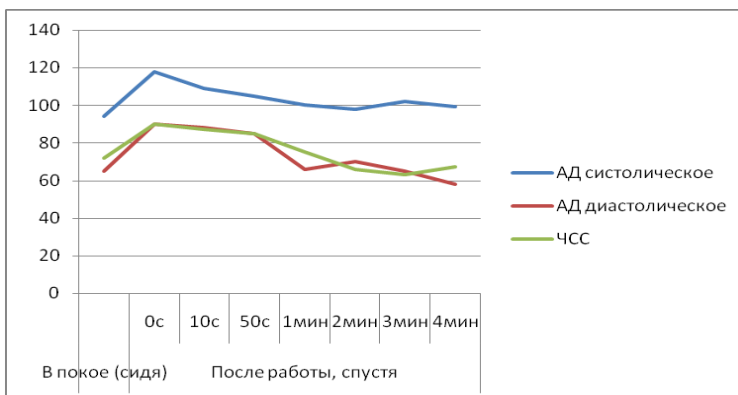


Рис. График изменения систолического и диастолического давления и частоты сердечных сокращений после дозированной нагрузки

Это позволяет определить тип реакции гемодинамики на функциональную нагрузку – адекватный, неадекватный, парадоксальный.

#### Библиографический список

1. **Занько, Н.Г.** Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: Лабораторный практикум: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Г. Занько, В.М. Ретнев. – М.: Издательский центр “Академия”, 2005. – 256 с.

*М.А. Желобанова, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО УЧЕБНОМУ КУРСУ "ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ"

Электронное освоение и тестирование знаний – это инновационные методика обучения, которая помогает оценить уровень знаний и оперативно обработать результаты. Контроль уровня знаний электронным тестированием дает возможность сделать его более объективным. Поскольку решение по выбору правильного ответа может принимать только сам тестирующийся. На каждый вопрос отводится минимальное количество времени, что снижает возможность обмануть систему, подсмотреть вариант ответа в шпаргалке или у коллеги-студента.

Нами разработана база данных для тестирования по учебному курсу “Экологическая экспертиза проектов” с помощью программы MyTestXPro [1].

Преимуществом системы программ MyTest является удобство ввода и редактирования данных, формирования заданий по выбранным темам учебного курса, организации и анализа результатов тестирования, которое позволяет узнать результативность по каждой теме теста и по всем заданиям.

При разработке структуры базы данных использовалась рабочая программа учебной дисциплины, материалы практических занятий и учебного пособия “Экологическая экспертиза проектов” [2]. В качестве основных разделов, соответствующих программе учебного курса, были приняты:

- законодательная защита окружающей среды;
- основы экологической экспертизы проектов;
- оценка допустимости загрязнения гидро- и атмосферы;
- основы проектирования.

Всего было составлено 283 теста с вопросами и вариантами правильных и неправильных ответов для 23-х подразделов.

При формировании заданий на тестирование было принято общее количество вопросов в тесте, равное 30, предельное время тестирования 45 мин. По каждому из 23-х подразделов задавалось 1...3 вопроса.

Программа MyTestXPro [1] и база данных с тестами, разработанная нами, применялась для итогового контроля знаний студентов группы 4-15.

Программа MyTestXPro сохраняет результаты тестирования, по которым можно оценить уровень знаний и сделать дидактический анализ степени усвоения материала студентами группы разделов и подразделов курса по доле правильных ответов по каждому подразделу.

Оценка результатов тестирования MyTest может задаваться различными способами (баллами (пять, -десять, сто баллов), зачет- незачет, процент правильных ответов и др.). Ни одна из систем не подошла к системе оценки знаний РИТМ, принятой в Ивановском государственном энергетическом университете, с учетом текущих и промежуточных контролей знаний.

Для расчета итоговой оценки по системе РИТМ составлено отдельное приложение в Microsoft Excel для перевода процента правильных ответов в дробную пятибалльную оценку за экзамен, и расчета итогового рейтинга и итоговой оценки знаний.

Результаты дидактического анализа степени усвоения материала студентами приведены в табл.



**Таблица. Количество тестовых заданий и правильных ответов**

Тема	Количество			Процент правильных ответов, %
	тестов в базе данных	заданных тестов	правильных ответов	
Введение. Законодательная защита окружающей среды	16	20	16	80
Основы экологической экспертизы проектов	74	70	40	57
Оценка допустимости загрязнения гидро- и атмосферы	101	110	86	78
Основы проектирования	92	100	59	59
Всего по курсу	283	300	201	67

На основании анализа процента правильных ответов можно сделать вывод, что из всего материала курса более слабо были освоены разделы "Основы экологической экспертизы" и "Основы проектирования". Самый низкий уровень усвоения знаний наблюдался при ответах на вопросы по подразделам "Предпроектная стадия" и "Качество проектных решений". Эти подразделы освоили только 30 % студентов, проходящих тестирование. Однако с учетом оценок по текущим и промежуточным контролям знаний все студенты получили итоговые оценки "хорошо" и "отлично".

#### Библиографический список

1. **Справочное** руководство по программе [Электронный ресурс] – режим доступа: [http://mytest.klyaksa.net/wiki/Заглавная\\_страница](http://mytest.klyaksa.net/wiki/Заглавная_страница)
2. **Соколов, А.К.** Экологическая экспертиза проектов: учеб. пособие/ А. К. Соколов, Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2005. – 108 с. ISBN

*Е.Н. Исаева, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## О ВЛИЯНИИ МЕТОДА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА РАЗБАВЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Течения играют существенную роль в переносе загрязнителей в реках и отдельных районах морей и океанов. Более значимым и всеобщим фактором, является турбулентная диффузия.

Для оценки интенсивности турбулентной диффузии в проточных водоемах (реках) используется коэффициент турбулентной диффузии.

Известна методика расчета коэффициент турбулентной диффузии по формуле Караушева [2]:

$$D_T = \frac{g \times H_p \times w_x}{M_{ш} \times c_{ш}},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ),  $H_p$  – средняя глубина русла реки;  $w_x$  – средняя по сечению русла скорость течения реки на расстоянии  $L$  от места выпуска сточных вод (м/с),  $c_{ш}$  – коэффициент Шези и  $M_{ш}$  – функция коэффициента Шези.

При упрощенном подходе величины  $c_{ш}$  и  $M_{ш}$  принимаются равными  $c_{ш} = 40 \dots 44 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$  и  $M_{ш} = 22,3 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$ .

При более детальном расчете значение  $c_{ш}$  и  $M_{ш}$  зависят от коэффициента шероховатости  $n_{ш}$  дна и берегов русла реки.

Коэффициента шероховатости  $n_{ш}$ , зависит от категории реки. Для четырех категорий равнинных рек значения коэффициента шероховатости указаны в табл. 1.

Для оценки влияния различных способов расчета коэффициента турбулентной диффузии на точность определения концентрации с загрязняющего вещества в расчетном створе реки проведены расчеты двумя методами.

**Таблица 1. Коэффициенты шероховатости для равнинных рек (по Б.В.Полякову)**

Категория	Характеристика рек	$n_{ш}$
I	Реки с песчаным руслом, ровным, без растительности, с незначительным перемещением донных наносов	0,020-0,023
II	Реки с песчаным извилистым руслом, с большими перемещениями донных наносов, пойма, заросшая травой	0,023-0,033
III	Пойма, заросшая кустарником или редким лесом	0,033-0,045
IV	Пойма, заросшая лесом	0,045-0,060

Расчеты выполнены для четырех категорий рек при сбросе в них сточных вод, содержащих нефтепродукты. Для рек (табл. 1) были приняты следующие значения коэффициентов шероховатости:  $n_{ш}=0,02$ ;  $n_{ш}=0,03$ ;  $n_{ш}=0,04$ ;  $n_{ш}=0,06$  для рек I, II, III и IV-й категорий.

Расчеты проведены с одинаковыми исходными данными с помощью программы Excel [2]. Рассчитаны коэффициенты смешения  $m_c$ , кратности разбавления  $n_p$ , концентрации нефтепродуктов  $c$  (на расстоянии 400 м от места сброса) и расстояния  $L_{пс}$ , на которых происходит полное смешение сточных вод с водами реки (табл. 2).

**Таблица 2. Результаты расчета параметров процесса разбавления сточных вод двумя методами**

Параметры	Упрощенный метод	Метод, учитывающий коэффициенты шероховатости			
		Категория реки			
		I	II	III	IV
$D_T$	0,0157	0,00481	0,0895	0,0142	0,0261
$m_c$	0,0857	0,0281	0,0485	0,0767	0,151
$n_p$	26,7	9,44	15,6	24,0	46,2
$c$	1,23	3,42	2,08	1,36	0,722
$L_{nc}$	5141	16810	9044	5711	3095

Оценим расхождение результатов расчета двумя методами по наиболее важному параметру процесса разбавления – концентрации загрязняющего вещества (нефтепродуктов) на принятом расстоянии 400 м от места сброса сточных вод (табл. 3).

**Таблица 3. Сравнение концентраций для рек различных категорий со значением, полученным при упрощенной методике расчета коэффициента турбулентной диффузии**

Категория реки	$c$ , мг/л	$c$ , мг/л (при упрощенном расчете)	Разница	Разница в %
I	3,42	1,23	2,19	64
II	2,08		0,85	41
III	1,36		0,13	10
IV	0,722		0,508	70

Сравнение значений концентраций (табл. 3) показывает, упрощенный расчет, может привести к значительной погрешности. Наименьшая погрешность в процентном соотношении наблюдается у поймы, заросшей кустарником или редким лесом (категория III) – 10%, а наибольшая погрешность у реки IV категории – 70 %.

#### Библиографический список

1. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод.: Справочное пособие / Под ред. А.И. Жукова. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
2. Соколов, А.К. Экологическая экспертиза проектов: учеб. пособие/ А.К. Соколов, Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2005. – 108 с. ISBN

*А.Ю. Мусикова, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА**

Объектами изучения психологии труда является не столько сама трудовая деятельность, сколько личность работника, в частности, его адаптационные возможности, межличностные отношения, профессиональные способности, производственная среда, методы производственного обучения и профессиональной ориентации. При изучении необходимо учитывать особенности разных видов трудовой деятельности в зависимости от конкретных производственных условий, орудий труда, методов трудового обучения, требований к психологическим качествам работников.

Для изучения личностных особенностей проводят психофизиологические обследования. Одновременно выявляют и деловые качества: способность ориентироваться в сложной ситуации, оперативность принимаемых решений, уверенность в себе, компетентность, зависящие, в свою очередь, от интеллекта и других личностных качеств.

К специфическим методам оценки функционального состояния нервной деятельности относятся исследования внимания, памяти, скорости реакций, подвижности рефлексов. Для такого рода оценок применяются тест на определение объема кратковременной памяти, тест Шульте на переключение внимания, тест на сенсомоторную зрительно-двигательную реакцию.

Условия трудовой деятельности требуют максимального учета личностных особенностей работника. Они влияют на интеллектуальные и физиологические функции, увеличивают или уменьшают утомляемость. Выявление этих черт и ранних признаков изменений в организме человека позволяет оптимизировать режим труда и отдыха и разрабатывать профилактические мероприятия по предупреждению заболеваний.

Для определения психофизиологических состояний человека применяется комплекс экспресс-методов в виде тестов для выявления стресса, астенического, тревожного и депрессивного синдромов. Для автоматизации проведения тестирования были разработаны электронные таблицы с использованием программы Microsoft Office Excel, включающие тест оценки депрессивности состояния (по

Готланду), тест на наличие 5 видов астении (рис.) и тест, позволяющий определить степень проявления тревоги и депрессии по шкале.

D25    fx =ЕСЛИ(B25<=12;"благоприятное";"неблагоприятное")

	A	B	C	D
1	Признаки астении	Оценка в баллах		Система оценок
2	Я чувствую себя здоровым	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
3	Физически я способен на немного	1	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
4	Я чувствую себя очень активным	2	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
5	Все, что я делаю, доставляет мне удовольствие	2	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
6	Я чувствую себя усталым	1	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
7	Мне кажется, я многое успеваю за день	2	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
8	Когда я занимаюсь чем-либо, я могу сконцентрироваться на этом	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
9	Физически я способен на многое	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
10	Я боюсь дел, которые мне необходимо сделать	1	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
11	Я думаю, что за день выполняю мало дел	2	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
12	Я могу хорошо концентрировать внимание	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
13	Я чувствую себя отдохнувшим	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
14	Мне требуется много усилий для концентрации внимания	2	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
15	Физически я чувствую себя в плохом состоянии	1	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
16	У меня много планов	1	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
17	Я быстро устаю	1	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
18	Я очень мало успеваю сделать	2	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
19	Мне кажется, что я ничего не делаю	2	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
20	Мои мысли легко рассеиваются	2	Да, это правда	5 4 3 2 1 1 Нет, это неправда
21	Физически я чувствую себя в прекрасном состоянии	2	Да, это правда	1 2 3 4 5 Нет, это неправда
22				
23				
24	Сумма баллов по виду астении			Оценка состояния
25	Общая астения	4		благоприятное
26	Физическая астения	5		благоприятное
27	Пониженная активность	8		благоприятное
28	Снижение мотивации	6		благоприятное
29	Психическая астения	6		благоприятное

Рис. Вид разработанной excel-таблицы для проведения тестирования на наличие 5 видов астении

Автоматизация процесса проведения психофизиологических исследований дает возможность не только удобной и быстрой обработки результатов выполнения тестов, но и интерпретации полученных в процессе тестирования результатов.

#### Библиографический список

1. **Методы** исследований состояния систем организма человека: Метод. указания к лабораторным работам по курсам "Основы здорового образа жизни" и "Физиология человека"/ Иван. гос. энерг. ун-т; Сост. Е.А. Пышненко. - Иваново, 2011. - 44 с.

*М.В. Тихомирова, М.А. Кошкина, студ.;  
рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ТРУБЫ НА ПРОЦЕСС РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ**

Высота трубы влияет на показатели загрязнения приземного слоя воздуха. Для исследования влияния высоты трубы на процесс рассеивания выбросов, нами выполнены расчеты при различных значениях высоты трубы. По результатам расчетов наблюдали за изменениями приземной концентрации пыли в приземном слое воздуха, опасной скорости ветра, расстояния от источника выбросов, на котором приземная концентрация максимальна. Были рассчитаны также поля распределения приземной концентрации в опасном направлении ветра в сторону селитебной зоны.

Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 1, 2 и 3. На рис. 1 показано изменение приземных концентраций на оси факела: максимальной ( $c_m$ ) и концентраций на расстояниях 200, 600 и 1500 м (обозначено на рис. 1 С200, С600 и С1500, соответственно).

На рис. 1 видно, что на больших удалениях величины концентраций слабо зависят от высоты трубы.

На рис. 2 показаны концентрации распределения приземной концентрации на расстоянии  $x=300$  м в стороны от оси факела  $c(y)$ . На рис. 2 видно, что на удалении от оси факела около 90 м приземные концентрации значительно снижаются и становятся одинаковыми для всех высот труб.

На рис. 3 показаны линии постоянного уровня для концентрации равной  $c=0,256$  мг/м<sup>3</sup> для высот труб  $H=15, 25, 30$  м.

Видно, что при увеличении высоты трубы  $H$  площадь зоны воздействия выбросов с концентрациями  $c > 0,256$  мг/м<sup>3</sup> сокращается как по оси  $x$ , так и по оси  $y$ . по ширине (вдоль оси  $Y$ ). При этом недалеко от источника выбросов для всех труб линии постоянного уровня с  $c = 0,256$  мг/м<sup>3</sup> располагается довольно близко и начинают расходиться на расстояниях  $x > 400$  м.

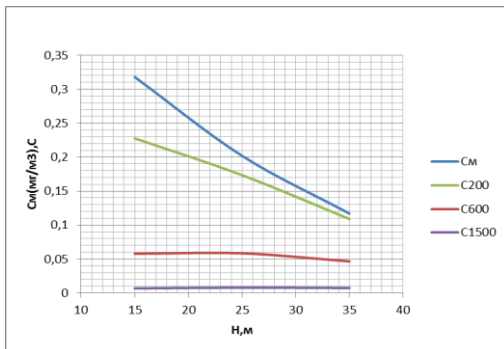


Рис. 1. Зависимость максимальной и приземных концентраций на на расстояниях 200, 600 и 1500 м от источника выброса.

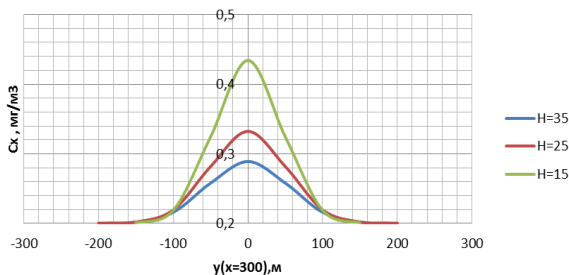


Рис. 2. Распределение концентраций на расстояниях перпендикулярных оси факела  $c(y)$  для  $x=300$  и трех значений  $H=15, 25, 30$  м

Аналогичные исследования выполнены при рассеивании вредных газов  $SO_2$  и  $NO_2$  обладающих *частичной* суммацией (однонаправленностью) вредного действия.

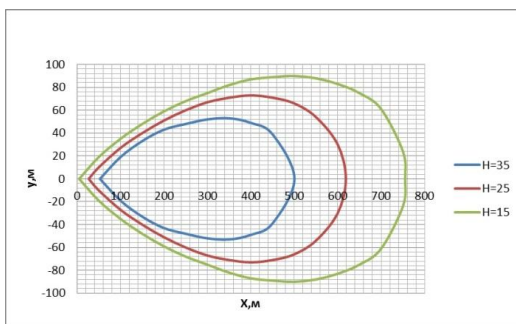


Рис. 3. Линии с постоянной приземной концентрацией равной  $c=0,256$  мг/м<sup>3</sup> для высот труб  $H=15, 25, 30$  м

Выполненное исследование позволило определить степень влияния высоты трубы на различные параметры процесса рассеивания выбросов.

#### Библиографический список

1. Соколов, А.К. Основы экологии: Учеб. пособие / ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". – Иваново, 2013. – 212 с. ISBN
2. Соколов, А.К. Экологическая экспертиза проектов: учеб. пособие/ А.К. Соколов, Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2005. – 108 с. ISBN

*М.А. Желобанова, студ.; рук. Г.В. Попов д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕТАНА НА ЧЕЛОВЕКА

Метан  $\text{CH}_4$  – газ без цвета и запаха, почти в два раза легче воздуха. Он образуется в природе в результате разложения без доступа воздуха остатков растительных и животных организмов. Поэтому он может быть обнаружен, например, в заболоченных водоемах, в каменно-угольных шахтах. В значительных количествах метан содержится в природном газе, который широко используется сейчас в качестве топлива в быту и на производстве.

Метан применяется во множестве сфер человеческой жизни. Он обеспечивает прогресс/сохранение уровня цивилизации. Это материал для создания полимеров (синтетического каучука), а затем иных весьма гибких и прочных материалов (резина), химическое сырьё, один из основных источников водорода. Главное же его предназначение всё-таки является топливом. Так же метан используется в процессе (газовой) сварки, либо резки металла, в силу способности к горению. Он нашёл применение и в медицине. Газ в целом безвреден для человеческого организма, но оказывает на индивидуума усыпляющие действие. Поэтому метан используют в качестве снотворного. Его широко используют как бытовое и промышленное топливо и как сырьё для промышленности. Также метан широко используется в качестве моторного топлива для автомобилей.

Так как метан используется во многих сферах человеческой жизни, следовательно, человек непосредственно взаимодействует с газом. Целью исследования было выявление воздействия метана на человека (ингаляционное, хроническое, пожарное, взрывное), а также способы снижения, уменьшения вероятности их возникновения и профилактика



этих воздействий. Способы снижения уровней выявленных техногенных опасностей и уменьшения вероятности их возникновения дают возможность конкретизировать мероприятия, повышающие безопасность человека и улучшающие условия труда работников газораспределительных предприятий. В качестве объекта исследования взят газ, добываемый из чисто газовых месторождений, содержащий более 95% метана.

Наименование выявляемых техногенных воздействий, которые создаются и могут быть созданы метаном, учитывает следующие обстоятельства их совершения: пути их поступления в организм работника, название техногенных происшествий.

#### Библиографический список

1. **Все о** транспорте газа, сайт газовой промышленности - <http://www.turbinist.ru/15761-primenenie-metana-ch4-v-bytu.html>
2. **Чернов К.В.** Показатели техногенной безопасности в промышленности. 2015. С.32-35.

*С.И. Буйлова, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОЦЕНКА ПОЖАРООПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ

В соответствии с [2], владельцы и арендаторы нежилых помещений должны представлять декларацию пожарной безопасности в территориальные органы пожарного надзора. Основная задача декларирования – подготовка собственника к эксплуатации своего объекта. Собственник обязан сообщить об имеющейся в здании системе оповещения, сигнализации, пожаротушения и безопасной эвакуации.

Для проведения всех мероприятий по пожарной безопасности важно оценить вероятность возникновения пожароопасной ситуации в помещениях объекта. Ведь возникновение и скорость распространения огня напрямую зависит от горючести материалов, которые находятся в сооружениях, а также от технологических процессов на объектах. В зависимости от находящихся в зданиях материалов, жидкостей или газов, выделяют 5 степеней опасности. При этом отдельно также оценивают категории помещений. При разделении их по степени опасности учитывают наличие в них горючих веществ, их количество. Также важную роль играют характеристики технологических процессов, которые проходят в указанных помещениях.

Пожароопасные свойства материалов определяются в результате исследований и по расчетам по установленным правилам в зависимости от окружающих параметров.

Различают такие категории помещений и зданий: А, Б, В, Г и Д. Они присваиваются по установленной методике. При расчете критериев опасности всегда исходят из наиболее неблагоприятной ситуации.

К помещениям класса В относят те, в которых находятся горючие или трудногорючие материалы, вещества, жидкости. Они способны гореть только при взаимодействии с воздухом, водой, между собой, но при этом не относятся к категории А или Б. Для каждого помещения выделена подгруппа в пределах В1-В4. Она определяется в зависимости от размещения пожароопасной нагрузки и ее концентрации.

Определение пожароопасной категории помещения осуществляется путем сравнения максимального значения удельной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки.

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожарного участка, пожарная нагрузка  $Q$ , МДж определяется из соотношения

$$Q = \sum_{i=1}^n Y_i \cdot Q_{\text{Н}i}^p,$$

где  $Y_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг,  $Q_{\text{Н}i}^p$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Удельная пожарная нагрузка  $q$ , МДж/м<sup>2</sup>, определяется из соотношения:

$$q = \frac{Q}{S},$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup>.

В результате проведенного расчета была определена категория пожароопасности помещения площадью  $S=18$  м<sup>2</sup>. Суммарная пожарная нагрузка в помещении составила 2747 МДж/кг. Удельная пожарная нагрузка равна 152,6 МДж/м<sup>2</sup>. Помещение по пожарной опасности отнесено к категории В4.

Пожароопасность помещения обуславливает выбор средств пожаротушения. Рассмотрены особенности применения огнетушащих веществ охлаждения, изоляции, разбавления и химические ингибиторы реакции горения в зависимости от свойств материалов и объектов, имеющих в помещении. Локализацию и ликвидацию пожара обеспечивают установки пожаротушения. Установка пожаротушения – совокупность стационарных технических средств тушения пожара путём

выпуска огнетушащего вещества. Установки пожаротушения по конструктивному устройству подразделяются на агрегатные и модульные, по степени автоматизации – на автоматические, автоматизированные и ручные, по виду огнетушащего вещества – на водяные, пенные, газовые, порошковые, аэрозольные и комбинированные, по способу тушения – на объемные, поверхностные, локально-объемные и локально-поверхностные.

#### Библиографический список

1. Горбунов, А.Г. Безопасность жизнедеятельности: в вопросах и ответах, задачах и решениях / А.Г. Горбунов, В.И. Дьяков, В.Н. Ларионов, Г.В. Попов, А.К. Соколов, В.П. Строев, А.И. Тихонов, К.В. Чернов. – Иваново: ИГЭУ, 2000. – 404 с.
2. **Федеральный** закон Российской Федерации от 22.07.2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [Электронный ресурс] URL: <http://www.rg.ru/2008/08/01/pojar-reglament-dok.html>

*А.М. Самойлов, студ.; А.А. Копасов, студ.; И.А. Никитин, студ.;  
рук. Г.В. Попов д.т.н. проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В техногенной сфере значительную роль играет прогнозирование состояния технических объектов, в частности трансформаторов.

Диагностика силовых трансформаторов опирается на достаточно представительный набор методов, среди которых одним из основных является хроматографический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле (ХАРГ). В работе была сделана попытка применить этот метод для прогнозирования состояния трансформатора. Для этих целей был использован программный комплекс «Диагностика», разработанный в Центре по проектированию и оценке состояния электротехнических объектов ИГЭУ. Этот комплекс предназначен для использования в составе энергосистем и крупных энергопредприятий для поддержки процесса принятия решения по техническому обслуживанию маслонаполненного оборудования.

С помощью «Диагностики+» была выполнена серия экспертиз дефектных трансформаторов методом ХАРГ с использованием различных методик: официальной, на основе российского РД и ряда зарубежных, в частности Дюваля и др.

Для оценки степени согласованности результатов различных методик ХАРГ использовался коэффициент вариации:

$$K_v = \frac{Q}{\bar{R}} * 100\% ,$$

где  $Q$  - среднее квадратическое отклонение оценок методик;

$\bar{R}$  – средняя арифметическая оценка методик, которая определялась по формуле:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^M R_j}{M} ,$$

где  $R_j$  – оценка  $j$ -й методики;  $M$  – число методик.

Среднеквадратическое отклонение оценок методик рассчитывалось по формуле:

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^M (R_j - \bar{R})^2}{M - 1} .$$

Полученные результаты подробно рассмотрены в докладе.

*А.О. Павлова, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА**

Индивидуальный профессиональный риск работника рассматривается как вероятность повреждения (утраты) здоровья работника или его смерти в зависимости от состояния условий труда и рисков травмирования на его рабочем месте, трудового стажа, с учетом состояния его здоровья и возраста, и данных о случаях производственного травматизма и профессиональных заболеваний на рабочем месте.

Оценка профессиональных рисков — система процедур, предусматривающая оценку условий труда, оценку рисков травмирования, оценку защищенности работников средствами индивидуальной защиты, оценку индивидуальных профессиональных рисков работников и

определение интегрального уровня профессионального риска в организации.

Управление профессиональными рисками — комплексная система мер, направленная на исключение или снижение профессионального риска и обеспечивающая контроль (мониторинг) риска.

Профессиональное заболевание - хроническое или острое заболевание, являющееся результатом воздействия вредного производственного фактора и повлекшее временную или стойкую утрату профессиональной трудоспособности (№ 125-ФЗ, 1998).

Профессиональный риск ( $R_{\Sigma}$ , год) для каждой индивидуальной профессии определяется следующим образом:

$$R_{\Sigma} = R_{см} + R_{вр.нт} + R_{п.нт} = (P_{см} + P_{вр.нт} + P_{п.нт}) \cdot N \cdot W \cdot t$$

Величина среднего времени сокращения продолжительности жизни от несчастных случаев со смертельным исходом определяется:

$$P_{см} = 25 \cdot (K_{чс}/1000 + I_p) \text{ (год/чел.)}$$

Показатель индивидуального риска определяется как ежегодная вероятность получения человеком травмы заданной степени тяжести:

$$I_p = П/Р \text{ (1/год)}$$

В соответствии с "Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификации условий труда» по степени вредности и опасности условия труда условно подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Индекс профессиональной заболеваемости (Ипз) — это относительная вероятность возникновения случая профессионального заболевания со стойкой утратой трудоспособности в результате воздействия вредных производственных факторов на работника.

**Таблица 1 - Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики**

Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006 – 05	Индекс профзаболеваний Ипз (постр./чел)	Категория профессионального риска	Срочность мероприятий по снижению риска
Оптимальный - 1	-	Риск отсутствует	Меры не требуются
Допустимый - 2	<0,05	Пренебрежимо малый (переносимый) риск	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите
Вредный - 3.1	0,05-0,11	Малый (умеренный) риск	Требуются меры по снижению риска
Вредный - 3.2	0,12-0,24	Средний (сущест-	Требуются меры

Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006 – 05	Индекс профзаболеваний Ипз (постр./чел)	Категория профессионального риска	Срочность мероприятий по снижению риска
		Вредный) риск	по снижению риска в установленные сроки
Вредный - 3.3	0,25-0,49	Высокий (непереносимый) риск	Требуются неотложные меры по снижению риска
Вредный - 3.4	0,5-1,0	Очень высокий (непереносимый) риск	Работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска
Опасный (экстремальный) -4	>1,0	Сверхвысокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии	Работы должны проводиться только по специальным регламентам

Чтобы рассчитать профессиональный риск, необходимо объединить следующие показатели:

- интегральную оценку условий труда по итогам специальная оценка условий труда;
- показатели здоровья работников по результатам периодических медосмотров;
- индивидуальные характеристики работника.

#### Библиографический список

1. Р 2.2.1766-03. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. 2003.
2. М.В.Лисанов, О.В.Меркулова. Вопросы количественной оценки профессионального риска на предприятиях промышленности.

*Е.А. Головцева, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## О МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ВЫСОТЕ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ ГАЗОВ SO<sub>2</sub> И NO<sub>2</sub>

Минимально допустимой высотой источника выбросов называют наименьшую высоту, при которой концентрации веществ в приземном слое воздуха при неблагоприятных метеоусловиях с учетом их фоновых концентраций не превысят предельно допустимых значений.

Вредные вещества газы SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> обладают *частичной* суммацией (однонаправленностью) вредного действия. Согласно [1, 2, 3] при совместном присутствии в атмосферном воздухе газов 1– сера диоксид

и 2– азот диоксид сумма их относительных концентраций не должна превышать 1,6:

$$\frac{c_{м,1} + c_{ф1}}{ПДК_1} + \frac{c_{м,2} + c_{ф2}}{ПДК_2} \leq 1,6, \quad (1)$$

где  $c_{м,i}$  – максимальная разовая концентрация  $i$ -го вещества в приземном слое воздуха от оцениваемого источника выбросов,  $c_{ф,i}$  – фоновая концентрация этого вещества,  $ПДК_i$  – разовая предельно допустимая концентрация вещества ( $ПДК_1=0,5$  мг/м<sup>3</sup>,  $ПДК_2=0,2$  мг/м<sup>3</sup> [1, 2, 3]).

Методика расчета минимально допустимой высоты источника выбросов в [4] описана для случая, когда допустимость выбросов оценивается по условию вида

$$\frac{c_{м,1} + c_{ф1}}{ПДК_1} + \frac{c_{м,2} + c_{ф2}}{ПДК_2} \leq 1. \quad (2)$$

На кафедре БЖД ИГЭУ предположили, что условие (1) можно учесть, изменив всего лишь одну формулу для расчета первого приближения минимально допустимой высоты источника выбросов

$$H_{j=1} = \sqrt{\frac{A \times M_c \times F \times m_0 \times n_0 \times \eta}{(1,6 \cdot ПДК_1 - c_{ф,c}) \times \sqrt[3]{V_T \times \Delta T}}} \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации (расслоения) атмосферы [4];  $M_c$  – приведенная масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вещества;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $m_0$  и  $n_0$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из устья источника (для первого приближения  $m_0 = n_0 = 1$ );  $c_{ф,c}$  – приведенная фоновая концентрация вещества,  $ПДК_1$  – разовая предельно допустимая концентрация первого вещества (в данном случае  $SO_2$ ), к которому сделано приведение по формулам [4];  $\Delta T$  – разность температур между температурой выбрасываемых газов  $T_T$  и температурой окружающего воздуха  $T_B$ , °C,  $\Delta T = T_T - T_B$ ;  $V_T$  – расход газов, м<sup>3</sup>/с.

В формулу (3) по сравнению с методикой [4] добавлен множитель 1,6. При этом величины  $M_c$  и  $c_{ф,c}$  должны рассчитываться по известным формулам приведения [4].

Последующие приближения  $H_j$  ( $j > 1$ ) определяются по итерационной формуле, уточняя значения  $n_j$  и  $m_j$  в зависимости от  $H_j$ :

$$H_{j+1} = H_j \times \sqrt{\frac{m_j \times n_j}{m_{j-1} \times n_{j-1}}} . \quad (4)$$

Для проверки методики учета *частичной* суммации вредного действия веществ, содержащихся в выбросе, выполнены поверочные расчеты.

Рассчитана минимально допустимая высота трубы  $H_{\min}$  по формулам (3) и (4) при выбросе двух вредных газов  $SO_2$  и  $NO_2$ . Затем при тех же исходных данных и  $H_{\min}$  определены максимальные разовые концентрации веществ  $c_{m,1}$  и  $c_{m,2}$ , которые были подставлены в условие допустимости воздействия (1).

Полученный результат расчета по (1)  $1,6 \approx 1,6$  показал, что найденная высота  $H_{\min}$  является минимально допустимой (при уменьшении  $H_{\min}$  условие (1) не будет выполняться, так как возрастут концентрации  $c_{m,1}$  и  $c_{m,2}$  в левой части условия (1)). Следовательно, формула (3) позволяет правильно учесть *частичную* суммацию вредного действия веществ в выбросе.

#### Библиографический список

1. **ГН 2.1.6.1338-03** Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9D\\_2.1.6.1338-03](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9D_2.1.6.1338-03) (дата обр. 7.04.2015).
2. **ГН 2.1.6.2326-08** Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение N 4 к ГН 2.1.6.1338-03. [http://standartgost.ru/g/ГН\\_2.1.6.2326-08](http://standartgost.ru/g/ГН_2.1.6.2326-08) (дата обр. 7.04.2015).
3. **ГН 2.1.6.1983-05** от 01.02.2006 (Роспотребнадзор (с изм. от 04.02.2008 г. (изм. № 4 - ГН 2.1.6.2326-08) )) [http://standartgost.ru/g/ГН\\_2.1.6.1983-05](http://standartgost.ru/g/ГН_2.1.6.1983-05) (дата обр. 7.04.2015).
4. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / ОНД – 86. Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 92 с.



## СЕКЦИЯ 11

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Председатель – д.т.н., проф. А.И. Тихонов  
Секретарь – магистрант А.В. Поюобный

А.Л. Козловский, PhD – докторант;  
рук. К.К. Кадыржанов, д.ф.м.н., профессор  
(ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан)

## МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ $\text{Co}$ – НАНОТРУБОК ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Электронное облучение металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации свойств материалов, таких как структурные, оптические, электрические и магнитные. Изменяя условия облучения, свойства материала мишени могут быть изменены в желаемом направлении. Облучение вызывает структурные изменения в материале, которые непосредственно оказывают влияние на его свойства. В данной работе рассмотрено влияние электронного излучения на кристаллическую структуру и проводящие свойства нанотрубок на основе кобальта. Облучение полученных наноструктур проводилось на ускорителе ЭЛВ – 4 (г. Курчатов, Казахстан) электронами с энергией 5 МэВ, плотностью тока 8 мА. Дозы облучения составили 50 и 100 кГр.

На рисунке 1а представлены ВАХ исследуемых образцов  $\text{Co}$  – нанотрубок до и после облучения.

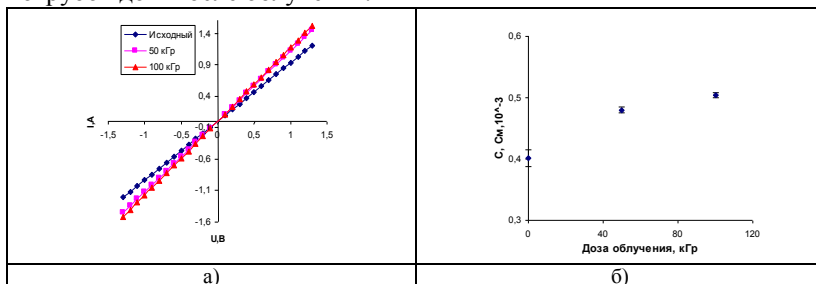


Рисунок 1. а) Вольтамперных характеристики  $\text{Co}$  – нанотрубок; б) График зависимости изменения проводимости от дозы облучения

Как видно из графика на рисунке 1б изменение удельного сопротивления для Co – нанотрубок, носит нелинейный характер и подчиняется полиномиальному закону  $y=3E-05x^2 - 0.005x - 1.0737$ . Согласно полученным данным облучение электронами приводит к снижению сопротивления на 16,7% при дозе облучения 50 кГр и на 21,6% при дозе облучения 100 кГр. При этом величина проводимости увеличивается на 19,5% и 25,5 % при дозах 50 и 100 кГр для Co – нанотрубок.

Увеличение дозы облучения приводит к перестройке кристаллической структуры Co – нанотрубок за счет снижения влияния метастабильной фазы  $\beta - Co$ , а также снижению количества микронапряжений создаваемых ГЦК фазой в кристаллической решетке, при этом происходит увеличение степени текстурирования образцов в процессе электронного облучения в текстурной плоскости [100], причем степень текстурирования с увеличением дозы облучения возрастает с 1,147 для исходного образца до 1,258 и 1,372 при дозах облучения 50 кГр и 100 кГр соответственно.

В результате облучения потоком электронов наблюдается изменение кристаллической решетки полученных нанотрубок, что говорит об электронном отжиге дефектов. С увеличением дозы облучения, происходит перестройка кристаллической структуры полученных нанотрубок. Количество дефектов напрямую влияет на проводящие свойства исследуемых нанотрубок. Таким образом, облучение потоком электронов позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, проводить электронный отжиг дефектов, который не разрушает наноструктуры, увеличивая проводимость и снижая сопротивление нанотрубок.

*К.О. Макаревич, магистрант; рук. В.Ф. Миненко, к.б.н., доц.  
(БГУ, г. Минск)*

## **ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА ПРИ ДЕНТАЛЬНЫХ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Ежегодный рост числа рентгенологических обследований закономерно приводит к повышению дозы облучения на душу населения. Вместе с тем дозы облучения пациентов для одинаковых видов исследований сильно различаются в разных диагностических центрах. Это обстоятельство побуждает к развитию методов оценки доз облучения пациентов, пригодных для решения задач оптимизации лучевых нагрузок

зок и снижения риска развития радиационных последствий диагностических процедур. При этом удобным инструментом сравнения разных методов и процедур облучения является эффективная доза, предложенная Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) в измененной трактовке [1].

Поскольку прямо измерить дозу облучения в органах и тканях человека сложно, а в большинстве случаев и невозможно, то единственным приемлемым способом оценки доз остается моделирование процедуры облучения.

Для решения поставленной задачи была разработана модель типичного дентального рентгеновского аппарата, учитывающая такие параметры процедуры облучения как напряжение ( $U$ ), приложенное к аноду рентгеновской трубки, полная фильтрация ( $d_{Al}$ ), размеры и форма поля облучения, расстояние источник-поверхность облучаемого объекта (РИП). Необходимые спектры излучения рентгеновского источника создавались с помощью программы TASMIP [2].

В качестве объектов облучения использованы рекомендованные МКРЗ для дозиметрических расчетов воксельные фантомы мужчины и женщины [3], которые Данные фантомы соответствуют стандартным анатомическим данным, представленным в 89 Публикации МКРЗ [4].

Воксельные фантомы были адаптированы к процессу моделирования: в зону облучения была включена только та часть каждого фантома, которая непосредственно попадала в поле облучения, и область полутеней на расстоянии до 20 см от края поля. Также в фантомах было проведено выделение зубов нижней и верхней челюстей.

Геометрия облучения пациента моделировалась в соответствии с основными правилами проведения соответствующего дентального рентгенологического исследования [5].

Расчет дозовых нагрузок на органы и ткани, а также расчет эффективной дозы проводился в соответствии с рекомендациями МКРЗ [1,3].

В качестве примера в таблице 1 представлены результаты оценки доз облучения органов и тканей для контактной рентгенографии зубов верхней челюсти для напряжения 65 кВ. Расчеты выполнены для типичных параметров дентальной рентгенографии: РИП=20 см, общая фильтрация 3 мм Al, прямоугольное поле 3 см × 4 см, произведение экспозиция-ток трубки 1 мА с.

**Таблица 1 – Дозовые нагрузки на органы и ткани при контактной рентгенографии зубов верхней челюсти при  $U=65\text{кВ}$ , радиационный выход  $R=0,035 \text{ мГр}\cdot\text{м}^2/(\text{мА}\cdot\text{с})$**

Ткани и органы	Исследование			
	Резцы	Клыки	Премоляры	Моляры
Экстраторакальный отдел, мкЗв	65,6	58,0	16,8	13,8
Слизистая полости рта, мкЗв	28,3	29,1	20,0	13,2
Поверхность кости, мкЗв	5,9	5,7	5,7	6,6
Слюнные железы, мкЗв	1,6	2,5	3,2	7,7
Красный костный мозг, мкЗв	0,9	0,7	0,9	1,0
Кожа, мкЗв	0,7	0,5	0,5	0,5
Головной мозг, мкЗв	0,6	0,5	0,7	1,0
Щитовидная железа, мкЗв	0,3	0,3	0,2	0,2
Эффективная доза, мкЗв	1,1	1,0	0,5	0,5

Приведенные выше результаты показывают, что наибольшему облучению среди органов и тканей подвергаются экстракторакальный отдел и слизистая полости рта. В наименьшей степени облучаются красный костный мозг, кожные покровы и щитовидная железа.

Были проведены оценки дозовых нагрузок и для других значений высокого напряжения трубки: 60 кВ и 70 кВ. Полученные результаты могут быть использованы для подготовки методических документов в сфере оценки доз облучения для разных видов дентальных исследований и характеристик рентгеновской трубки, а также для разработки оптимальных процедур облучения пациентов.

#### Библиографический список

1. The 2007 Recommendations of the Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 Ann. ICRP 37 (2-4). Pergamon Press, 2007. 332 p.
2. **Boone J.M., Seibert J.A.** An accurate method for computer-generating tungsten anode x-ray spectra from 30 to 140 keV. // Med.Phys. 1997. Vol. 24, No. 1. P.1661-1670.
3. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP. Pergamon Press, 2009. 165 p.
4. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89. Pergamon Press, 2003. 265 p.
5. **Васильев А.Ю., Воробьев Ю.И., Трутень В.П.** Лучевая диагностика в стоматологии. М.: Медика, 2007. 496 с.

*Д.И. Комар, асп.; рук. С.А. Кутень, к.ф.-м.н.  
(МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ УПН-АТ140

При испытаниях и поверке средств измерений радиометрических и дозиметрических величин нейтронного излучения применяют

установки, в которых поле нейтронов создается источником нейтронов, размещенном в контейнере-коллиматоре. Для передачи единиц величин плотности потока  $\phi$  и AMBIENTНОГО эквивалента дозы  $H^*(10)$  при аттестации установок необходимо проводить измерения для всего диапазона рабочих расстояний, что требует слишком большого времени и высокой стабильности средств передачи единиц требуемых величин. Поэтому при аттестации установок важным условием является уменьшение влияния внешних воздействий и проведение измерений в ограниченном количестве выбранных реперных точек. Остальные точки моделируются методами Монте-Карло [1].

В установке поперечной нейтронного излучения УПН-АТ140 коллиматор выполнен из борированного полиэтилена. В качестве источника нейтронов применялся Pu-Be источник типа ИБН-8-6, с радионуклидом Pu-238. Источник нейтронов ИБН-8-6 имеет размеры активной части  $d=13$  мм и  $h=13,5$  мм. Для данной установки была разработана Монте-Карло модель коллиматора с источником нейтронов.

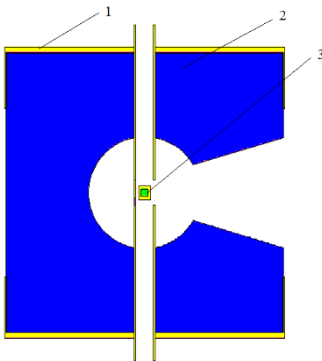


Рисунок 1 Монте-Карло модель коллиматора установки УПН-АТ140, 1-контейнер, 2-коллиматор, 3- источник нейтронов

Модель источника предполагает, что нейтроны образуются равномерно во всем объеме его активной части. С помощью кода MCNP определялся поток частиц в заданной точке (карта f4) [2]. Расчеты проводились в условиях отсутствия воздуха и стен помещения.

**Таблица 1–Результаты измерений и расчетов характеристик УПН-АТ140**

R, м	Результаты поверки		Расчетные значения	
	$\varphi, с^{-1}см^{-2}$	$H^*(10), мкЗв/час$	$\varphi, с^{-1}см^{-2}$	$H^*(10), мкЗв/час$
0.5	1018.5	1433.6	1021.2	1436.4
0.6	685.9	965.4	686.2	965.2
0.7	492.6	693.4	492.7	693.0
0.8	370.8	521.9	372.2	523.5
1	231.6	326.1	233.1	327.9
1.2	158.2	222.7	159.7	224.7
1.4	114.9	161.7	116.4	163.6
1.7	76.9	108.2	78.2	109.9
2.0	55.0	77.4	56.1	78.9
2.4	37.8	53.2	38.8	54.5
2.8	27.5	38.8	28.3	39.9

Значения мощности амбиентного эквивалента дозы рассчитываются по формуле

$$H^*(10) = \varphi \cdot k_{H^*(10)}$$

$k_{H^*(10)}$  - усредненный по спектру коэффициент связи плотности потока нейтронов с мощностью амбиентного эквиванента дозы [3].

Для Pu-Be источника нейтронов типа ИБН-8-6 коэффициент  $k_{H^*(10)}$  принимался равным **391 пЗв · см<sup>2</sup>** в соответствии с рекомендациями ISO-8529.

Разработанная Монте-Карло модель может быть использована для расчета метрологических характеристик установки УПН-АТ140 во всем рабочем диапазоне.

#### Библиографический список

1. **И. В. Горячев**, Ю. И. Колеватов, В. П. Семенов, Л. А. Трыков. Интегральные эксперименты в проблеме переноса ионизирующих излучений: Справочное руководство./–М.: Энергоатомиздат, 1985. – 272 с. ил.
2. **Briesmeister J.F.** MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. / - Los Alamos. 1997. – 736 p.
3. ISO-8529. Излучения нейтронные эталонные.

*Д.И. Комар, асп.; рук. С.А. Кутень, к.ф.-м.н.  
(МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск)*

## МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА ОТ ЭНЕРГИИ ГАММА-КВАНТОВ

Важной характеристикой счетчика Гейгера-Мюллера является его чувствительность к энергии гамма-излучения. Чувствительность зависит от толщины стенок счетчика, их материала и энергии падающего гамма-излучения. При проектировании блоков детектирования гамма-излучения со счетчиками Гейгера-Мюллера необходимо учитывать зависимость чувствительности от энергии гамма-излучения во всем диапазоне регистрируемых энергий. Зачастую такую зависимость затруднительно построить, опираясь только на экспериментальные данные с применением радионуклидных источников. Таким образом, моделирование методами Монте-Карло позволяет упростить задачу расчета фильтрации для используемого счетчика [1].

В рассматриваемом блоке детектирования гамма-излучения применяется счетчик Гейгера-Мюллера СИ42Г. Катод счетчика СИ42Г выполнен из нержавеющей стали и имеет толщину стенки 220 мкм. Длина чувствительной области 35 мм. Импульсная чувствительность к гамма-излучению изотопа Cs-137 составляет  $15700 \pm 2300$  имп/мкГр. Разработанная модель воспроизводит геометрию счетчика и состав материалов.

Монте-Карло модель счетчика Гейгера-Мюллера СИ42Г приведена на рисунке 1.

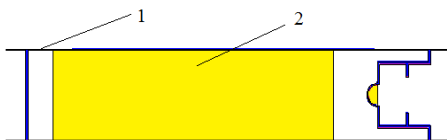


Рис. 1. Модель счетчика Гейгера-Мюллера СИ42Г, 1-корпус, 2-чувствительный объем

Модель предполагает облучение счетчика параллельным потоком гамма-квантов с заданной энергией и регистрации электронов на внутренней поверхности катода (трубки) при помощи карты F1 [2].

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по

чувствительности для ряда радионуклидов относительно Cs-137 приводится в таблице 1.

**Таблица 1–Чувствительность счетчика к энергиям относительно Cs-137**

Радионуклид	Расч. чувств.	Эксп. чувств.
Am-241	7,17	7,01
Co-57	2,72	2,62
Cs-137	1,0	1,0
Co-60	1,17	1,16

На рисунке 2 изображена расчетная зависимость чувствительности счетчика СИ42Г во всем диапазоне энергий.

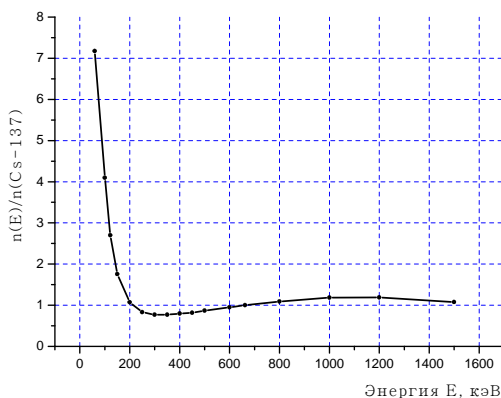


Рис. 2 Зависимость чувствительности счетчика СИ42Г от энергии гамма-излучения (по отношению к чувствительности по Cs-137)

Из данных таблицы 1 видно, что разработанная Монте-Карло модель хорошо согласована с реальным экспериментом. Используя полученные расчетным путем данные о чувствительности в интересующей нас энергетической области, можно подбирать параметры фильтрации для данного счетчика.

#### Библиографический список

1. **Группен К.** Детекторы элементарных частиц: Справочное издание. Н.: Сибирский хронограф, 1999. 426 с.
2. **Briesmeister J.F.** MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. / Los Alamos. 1997. – 736 p.



*О.В. Крестьянинова, студ.; рук. М.Н. Шипко, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Наноматериалы и нанотехнологии относятся к числу приоритетных направлений развития современного материаловедения. Эти технологии позволяют работать с небольшими группами атомов или молекул. В свою очередь к наноматериалам относят такие, размер частиц которых не превышает 100 нм хотя бы в одном измерении и обеспечивающие уникальные эксплуатационные свойства. Основные направления применения наноматериалов и нанотехнологий приведены на рис. 1.

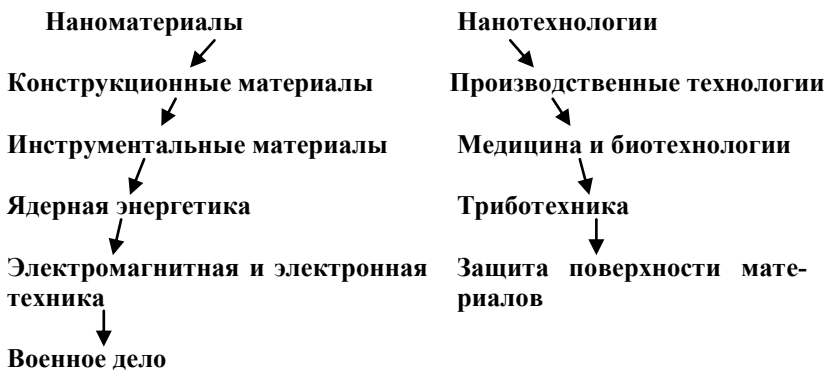


Рис. 1. Основные направления применения наноматериалов и нанотехнологий

В работе рассмотрено использование природных наноматериалов в частности шунгита для повышения качества питьевой воды [1, 2]. Шунгит природный наноматериал, представляет собой окаменевшую древнейшую нефть. Он необычен по происхождению и структуре входящего в его состав углерода. Шунгитовый углерод обладает специфической структурой, представляющей многослойные глубины около 10 нм. Такая структура весьма активна в окислительно-восстановительных реакциях. В табл. 1 приведены результаты измерения физико-химических параметров питьевой воды поле пропускания ее через шунгитовый фильтр. Измерения параметров выполнены на наномере ИПЛЗ11 (РН-метре), наномере (РХ-метре) и кондуктометре.

Таблица 1. Результаты измерения электрохимических параметров питьевой воды после фильтрования в шунгите в течение 10ч30 мин

№ пробы	t, мин	РН	ОВП МВ	$P_x$	Удельная электропроводность, МК См/см	CNaCl, м <sup>2</sup> /л
1	Исх.	8.778	-120	3.850	636.3	343.9
2	10	8.715	-117.4	4.041	652.5	334.5
3	20	8.724	-118.2	4.034	655.1	354.4
4	30	8.749	-119.2	4.054	663.9	359.3

Видно, что шунгит обладает сорбционными и каталитическими свойствами и оказывает влияние на окислительно-восстановительный потенциал и удельную электропроводность питьевой воды. Это указывает на возможность его использования для повышения качества воды лишь при определенных параметрах процесса фильтрования.

#### Библиографический список

1. Гемш З., Бахманн П., Ивахтюк К.Г., Воронцов О.А., Зиновьев Е.М. Физико-химические и биологические свойства электрофизически активированной воды. JSrAEE, 2013, № 1/2 (118), с. 162-166.
2. Зацепина Г.А. Физические свойства и структура воды. М: Изд-во МГУ, 1998, 185 с.
3. Широносков В.Г., Минаков В.В., Широносков О.В. Приготовление питьевой воды высшего качества: анализ и перспектива. Экология промышленности России, 2008, № 3, с.4-7.

*М.В. Масляев, студ.; рук. М.Н. Шипко, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ЕГО ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Традиционно применяемые металлические и неметаллические материалы не могут в полной мере удовлетворять требованиям современного машиностроения. В то же время эти требования могут быть удовлетворены в результате применения комбинационных материалов [1,2], состоящих из взаимно-нерастворимых компонентов, обладающих специфическими свойствами [3].

В настоящей работе использованы материалы, состоящие из полимера и частиц оксидов железа или кобальта, которые являются наполнителями. В таблице 1 приведена твердость композитов, содержащих различное количество супердисперсных частиц  $Fe_2O_3$  ( $< 100$  нм). Видно, что с ростом концентрации частиц твердой фазы, твердость композита увеличивается (табл.1).

Таблица 1. Твердость композитов, содержащих различное количество супердисперсных частиц  $Fe_2O_3$

№ образца	Количество кристаллической фазы мол. %	Твердость $H_v$
1	10	50
2	15	150
3	18	180

Одновременно с повышением концентрации  $Fe_2O_3$  уменьшается количество дефектов, что отчетливо прослеживается на изменении поверхностной пористости образцов (табл. 2).

Таблица 2. Изменении поверхностной пористости образцов

№ образца	Удельная поверхность пор, $m^2/g$	Суммарный объем пор, $106 m^3/g$
1	1.83	0.028
2	1.61	0.024
3	1.03	0.02

Видно, что изменение состава композита сопровождается изменением суммарного объема пор их удельной поверхности. Залечивание нано- и микропор при увеличении содержания частиц твердой фазы может быть связано с увеличением удельной поверхности взаимодействующей с полимером.

Полученные результаты показывают, что при относительном соотношении количества твердой фазы и полимера можно получить композиционные материалы с высоким уровнем эксплуатационных свойств.

#### Библиографический список

1. **Щукин Е.Д.** Свойства полимерных композитов. УФН, 1972, т.108, с. 3-10.
2. **Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфменд И.Е.** Наночастицы металлов в полимерах М.: Химия, 2000, 648с.
3. **Головин Ю.И.** Магнитопластичность твердых тел. М.: Машиностроение, 2003, 108 с.

*В.О. Кабанов, студ.; рук. П.А. Поляков, д.ф.-м.н., проф.  
(МГУ, Москва)*

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СИСТЕМЫ ДВУХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Актуальность работы заключается в экспериментальной проверке аналитических формул для расчёта поля магнита и принципа суперпо-

зиции для системы магнитов. Интернет-обзор показал отсутствие работ такого типа. Экспериментальные измерения и теоретические расчёты выполнены автором. Результаты работы подтверждают верность аналитических расчётов. Полученные результаты являются основанием для расчётов полей сложных магнитных систем.

Объектом исследования являлась система из двух постоянных магнитов Nd-Fe-B в форме прямоугольных параллелепипедов. Намагниченность магнита  $M=1,31$  Тл. Схематическое изображение системы представлено на рис. 1.

Экспериментально определены зависимости компонентов вектора магнитной индукции  $B_z$  от координаты  $y$  вдоль прямой 1 (рис. 1) с координатами  $(0,5a, y, 3c+0,3$  мм) и  $B_y$  от координаты  $z$  вдоль прямой 2 (рис. 1) с координатами  $(0,5a, -0,3$  мм,  $z)$  магнитного поля, созданного системой магнитов.

Магнитная индукция измерялась датчиком Холла (ПХЭ 606 817 А) с размером рабочей зоны  $0,45 \times 0,15$  мм. Аналитический расчет полей каждого из магнитов проведен по формулам, полученным в [1]. Индукция результирующего поля системы магнитов рассчитывалась по принципу суперпозиции, т.е. как сумма индукций полей, создаваемых каждым магнитом в отдельности.

На рис. 2 представлены результаты экспериментально зависимостей  $B_z(0,5a, y, 3c+0,3$  мм) и  $B_y(0,5a, -0,3$  мм,  $z)$ , а также результаты аналитического расчета  $B_z$  и  $B_y$  каждого из магнитов в отдельности. По данным графикам можно оценить величину и качество вклада поля каждого магнита в отдельности в результирующее магнитное поле, создаваемое системой магнитов. Индукция поля магнита достаточно быстро убывает с увеличением расстояния от поверхности магнита. В представленной системе вклад поля второго магнита в поле первого очень небольшой. В той точке, где он максимален, он составляет около 12%. А на расстояниях более сантиметра он равен нулю.

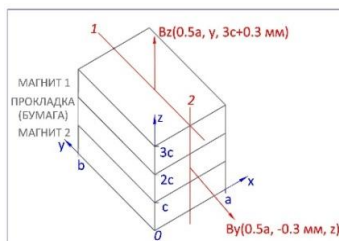
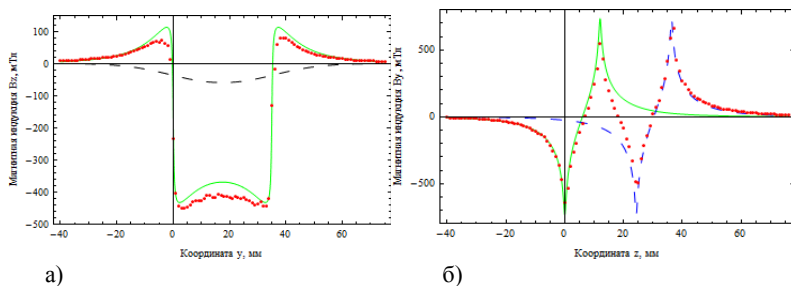
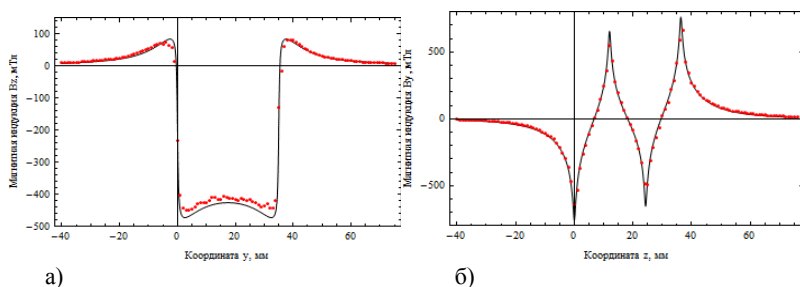


Рис. 1. Схематическое изображение системы магнитов с привязкой к системе координат ( $a=24$  мм,  $b=35$  мм,  $c=12$  мм)



а) б)  
Рис. 2. Результаты эксперимента (точки) также результаты аналитического расчета  $B_z$  (а) и  $B_y$  (б) 1-го (сплошная линия) и 2-го (пунктирная линия) магнитов в отдельности

На рис. 3 представлены результаты экспериментально определенных зависимостей  $B_z(0.5a, y, 3c+0.3 \text{ мм})$  и  $B_y(0.5a, -0.3 \text{ мм}, z)$ , а также результаты аналитического расчета  $B_z$  и  $B_y$  поля системы магнитов.



а) б)  
Рис. 3. Результаты эксперимента (точки) также результаты аналитического расчета  $B_z$  (а) и  $B_y$  (б) системы магнитов (сплошная линия)

Из рис. 3 можно сделать вывод о хорошем совпадении экспериментальных результатов и результатов аналитического расчета. Можно отметить одну проблемную область над поверхностью 1-го магнита в диапазоне координат от 0 до 35 мм (рис.3а), где наблюдается несоответствие около 3%. Влияние диамагнитной прокладки между магнитами под вопросом. Возможно это недостаток методики измерений. Здесь требуются дальнейшие исследования.

#### Библиографический список

1. R. Engel-Herbert and T. Hesjedal. Calculation of the magnetic stray field of a uniaxial magnetic domain. J. Appl Phys. 97, 074504 (2005).

*Н.И. Потехин, В.В. Ратников, студ.;  
рук. Е.А. Крестниковская, преп., И.В. Неверов, доцент  
(ИГЭУ, ИвПЭК, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК**

Моделирование физических законов реального мира всё шире используется в нашей повседневной жизни. Кроме того, моделирование физики – само по себе интересная задача. Простая физическая модель позволяет создавать эффекты, которых практически невозможно добиться без моделирования физики.

Современные компьютерные игры в большинстве своём изображают целые виртуальные миры. Эти миры могут выглядеть и функционировать так, как считают нужным их создатели. Однако, если мы – создатели – хотим, чтобы игра была понятна игрокам и привлекала их, мы должны создавать миры, более или менее соответствующие реальности. А поведение и внешний вид реального мира – это и есть предмет физики.

Встраивание физики в игры означает моделирование нескольких основных вещей: 3D-объектов и 3D-сцен; движения; твердых объектов; вращения; трения; сопротивления воздуха и воды; силы тяжести; столкновений и взрывов; гибких вещей; волн. Также необходимы знания математики. А именно: основы геометрии треугольников, векторов, матриц, производные и операции над всем этим.

Часто ли используются материальные точки в играх? Почти постоянно. С увеличением вычислительной мощи компьютеров важность материальных точек в играх будет возрастать. В некоторых играх используются системы маленьких частиц, чтобы изобразить фрагменты стены, отлетающие от нее при попадании. Эти фрагменты исчезают по прошествии некоторого времени. Если у нас есть достаточные вычислительные ресурсы, мы можем смоделировать появление дыр в стене при попаданиях. Программе придется отслеживать, с какой силой пуля врезается в стену. Если игрок стреляет в стену издали, пуля не должна пробить стену. Если стрельба ведется в упор, то в стене должны появляться дыры. Чтобы моделировать такое поведение, нужно использовать материальные точки.

Сложные объекты часто представляются в виде наборов материальных точек. Если мы создадим объект, состоящий из тяжелых частей, соединенных более легкими, его можно будет представить в виде набора материальных точек. Если это сделать, то объект можно красиво разрушить. Например, при взрыве могут разлететься в разные сто-

роны части объекта. Остается добавить зрелищные эффекты взрыва, и все будет выглядеть очень реалистично.

В данной работе приводятся примеры реализации компьютерной физики на языке C++ с использованием 3D-объектов и 3D-сцен. Пример программы будет отображать шарик, движущийся слева направо по окну. Поскольку мы пока не рассматриваем кинематику вращения, то вращаться в этой программе шарик не будет.

Начав с основных понятий о материальных точках и скоростях, мы создали систему, позволяющую моделировать материальные точки, и применили ее. Мы еще не затрагивали силу тяжести, отскок объектов при столкновениях, трение и сцепление.

#### Библиографический список

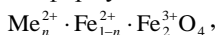
1. Конгер Д. Физика для разработчиков компьютерных игр. Пер. с англ. А.С. Малявко.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
2. <http://www.gamedev.ru>
3. <http://www.sources.ru>
4. <http://www.render.ru>

*Е.В. Авдеева, А.Н. Овчарук, студ.;  
рук. Е.А. Крестниковская, преп., И.В.Неверов, доцент  
(ИГЭУ, ИвПЭК, г. Иваново)*

## СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ

Физико-химические свойства магнитных жидкостей на основе магнетита изучены хорошо и подробно описаны в литературе [1, 2]. Свойства же ферритовых МЖ освещены достаточно слабо, хотя именно состав частиц дисперсной фазы может в заметной степени изменить характеристики образцов. Следует отметить, что изучение свойств жидкостей с модифицированной дисперсной фазой или ферритами существенно расширяет область применения МЖ.

Состав магнитной фазы в исследованных магнитных жидкостях можно представить следующей формулой:



где  $n$  – содержание модифицирующей добавки в феррите.

Значение  $n$  изменялось от 0 до 1, а в качестве добавки использовались Co, Ni, Mn. Максимальный размер частиц в образцах не превышал 16,0 нм.

На рис.1 представлены кривые намагничивания образцов МЖ с модифицированной дисперсной фазой, в которых в качестве модифицирующей добавки использованы Mn, Co и Ni. Кривые намагничивания всех образцов МЖ мало различаются между собой, когда отношения содержания модифицирующей добавки к содержанию двухвалентного железа  $Me^{2+} / Fe^{2+} \leq 0,25$ . Этот факт свидетельствует о том, что размер частиц в синтезированных образцах заметно не меняется, а некоторое снижение намагниченности связано со снижением магнитных характеристик ферромагнетика. Следует отметить, что образцы МЖ, модифицированные Mn, в сравнении с магнетитовыми МЖ практически не снижают своей намагниченности вплоть до содержания марганца, определяемого соотношением  $Me^{2+} / Fe^{2+} \leq 0,5$ .

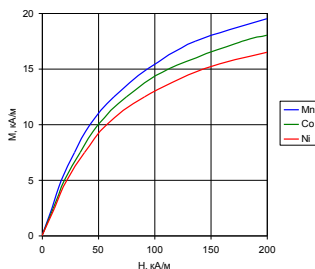


Рис.1 Кривые намагничивания образцов МЖ с различной модифицирующей добавкой,  $Me^{2+} / Fe^{2+} \approx 0,25$

Магнитные жидкости с модифицированной дисперсной фазой, например, с ферритами кобальта и марганца, когда  $n = 1$ , заметно отличаются по свойствам от магнетитовых МЖ. Если средний размер частиц в магнетитовых магнитных жидкостях колеблется в пределах 6,0-8,0 нм, то средний размер частиц МЖ с ферритами Co составил 4,0 нм, а с ферритами Mn – 3,0 нм. Дополнительным преимуществом образцов МЖ с частицами феррита марганца является то, что при низких температурах намагниченность насыщения таких "жидкостей" примерно в 1,3 раза выше, чем магнетитовой.

Магнитные жидкости с модифицированной дисперсной фазой могут иметь заметное преимущество перед магнетитовыми МЖ, т.к. более устойчивы к окислению.

#### Библиографический список

1. **Физические** свойства магнитных жидкостей // Сб. статей. – Свердловск, УНЦ АН СССР, 1983. – 127 с.
2. **Блом Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О.** Магнитные жидкости. – Рига: Зинатне, 1989. – 386 с.



*А.А. Романов, А.М. Ежов, студ.;  
рук. Н.Г. Демьянцева, к.т.н., доц., С.М. Кузьмин, к.х.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИ ЭХО МЕТАЛЛОВ**

В современном машиностроении возникают технологические задачи, выполнение которых требует изготовление изделий с прецизионной точностью из новых материалов (например, жаростойких и специальных никелевых сталей, тугоплавких сплавов, композитов и т.п.), обработка которых известными механическими методами проблематична или невозможна. К таким задачам, в частности, относятся изготовление деталей из высокопрочных или вязких материалов, изготовление тонкостенных нежестких деталей, изготовление пазов и отверстий, имеющих размеры несколько микронметров, а также получение деталей с малой шероховатостью поверхности и очень малой толщиной дефектного поверхностного слоя. В условиях, когда возможности обработки резанием ограничены плохой обрабатываемостью материала изделия или сложностью формы обрабатываемой поверхности, целесообразно применять электрохимическую размерную обработку (ЭХО), основанную на высокоскоростном анодном растворении металлов. Впервые данный метод был предложен в 1928 г. В. Н. Гусевым и Л. А. Рожковым.

Обрабатываемая деталь подсоединяется к положительному источнику тока и становится анодом, а электрод-инструмент – к отрицательному и становится катодом. Расстояние между катодом и анодом устанавливают от 0,05 до 0,5 мм. Процессы переноса в межэлектродном пространстве (миграция, диффузия, конвекция) оказывают влияние на локализацию процесса растворения и формообразование обрабатываемой детали [1, 2]. Исследование влияния различных факторов на процессы переноса позволяет определять пути повышения производительности и точности ЭХО. В связи с этим актуальной оказывается задача визуализации возникающих при ЭХО потоков вещества и заряда.

Для решения данной задачи лабораторная созданная ранее установка для исследования процесса ЭХО [3] была дополнительно оснащена микроскопом Intel Play QX3 Plus, подключенным к компьютеру (рис. 1). Микроскоп позволяет фотографировать и вести видеосъемку исследуемого объекта при увеличении 10, 60 и 200 крат. Наличие двух встроенных осветителей дает возможность направлять освещение как сверху, так и снизу, что приводит к высокой кон-

трастности изображения. Использование микроскопа позволяет в реальном времени наблюдать изображение объекта (обрабатываемого металла и межэлектродного промежутка) на мониторе компьютера и мгновенно фиксировать все изменения процесса обработки при изменении электрических режимов.



Рис. 1. Внешний вид установки и изображение объекта на мониторе

Для выполнения работы изготовлены тонкослойные ячейки с электродами различной формы и минимальным межэлектродным расстоянием менее 1 мм. Отработанны операции заполнения ячейки раствором и фокусировки микроскопа. Проведены наблюдения формирования конвективных потоков и газовыделения на электроде при различных напряжениях между электродами экспериментальной ячейки.

#### Библиографический список

1. Давыдов А.Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование. М.: Наука, 1990. 272 с.
2. Давыдов А.Д., Волгин В.М., Любимов В.В. Электрохимическая размерная обработка металлов: процесс формообразования // Электрохимия, 2004. Т. 40. № 12. С. 1438-1480.
3. Демьянцева Н.Г., Кузьмин С.М. Электрохимическая обработка металлов (учебно-методическая разработка). Иван. гос. энергет. ун-т. – Иваново, 2013. 20 с.

М.С. Фадеева, студ.; рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ MAPLE ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Движение электрических зарядов в неоднородном электромагнитном поле относится к числу классических задач, которые встречаются в исследованиях по управляемому термоядерному синтезу, космической астрофизике, в работах, связанных с магнитным резонансом [1]. Для описания движения электрического заряда  $q$  в электромагнитном поле с индукцией  $\vec{B}(\vec{r})$  и напряженностью  $\vec{E}(\vec{r})$  необходимо при заданных начальных условиях  $\vec{r}(0), \vec{v}(0)$  решить систему уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{\vec{r}} &= \vec{v}, \\ \ddot{\vec{r}} &= \frac{q}{m} \left( [\vec{v} \times \vec{B}(\vec{r})] + \vec{E} \right),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $m$  – масса заряда,  $\vec{r}$  – радиус-вектор текущего положения заряда.

Аналитические решения системы дифференциальных уравнений второго порядка (1) удастся найти только для нескольких случаев. Во-первых, для постоянного однородного магнитного поля  $\vec{B}(\vec{r}) = \text{const}$ , в котором заряд движется по спирали. Решения в других случаях оказываются только приближенными.

Представляет интерес компьютерное моделирование траектории электрического заряда в электромагнитном поле в курсе общей физики. Оно может применяться на практических занятиях, в самостоятельной работе студентов, в виртуальном компьютерном моделировании в физическом практикуме. Нами решалась задача численного моделирования приближенного движения заряженной частицы в однородном и неоднородном магнитных полях. Например, в опыте Штерна-Герлаха используется поперечное магнитное поле с очень высокой степенью неоднородности [2]. При этом магнитный момент атома будет испытывать силовое воздействие  $\vec{F} = (\vec{p}_m \nabla) \vec{B}$ , зависящее от ориентации магнитного момента  $\vec{p}_m$  относительно поля  $\vec{B}(\vec{r})$  [3].

Численное моделирование движения заряженной частицы в электромагнитном поле осуществлено с помощью современного программного пакета MAPLE, широко используемой и доступной студенческой системы компьютерной алгебры. Фрагмент программы реше-

ния системы уравнений (1) для однородного магнитного поля имеет вид, приведенный ниже:

```
restart
sys := diff(x(t), t) = q/m * (Ex + (diff(y(t), t) * Bz - diff(z(t), t) * By)),
diff(y(t), t) = q/m * (Ey + (diff(z(t), t) * Bx - diff(x(t), t) * Bz)),
diff(z(t), t) = q/m * (Ez + (diff(x(t), t) * By - diff(y(t), t) * Bx)).
q := 1; m := 1; V := 1;
Vx := 0; Vy := V; Vz := 0; Ex := 0; Ey := 0; Ez := 0; Bx := 0; By := 0; Bz := 1
with(DEtools); traektor := DEplot3d({sys}, {x(t), y(t), z(t)}, t = 0 .. 30,
[[x(0) = 0, (D(x))(0) = Vx, y(0) = 0, (D(y))(0) = Vy, z(0) = 0,
(D(z))(0) = Vz]], stepsize = 0.1e-1)
with(plots); display(traektor)
```

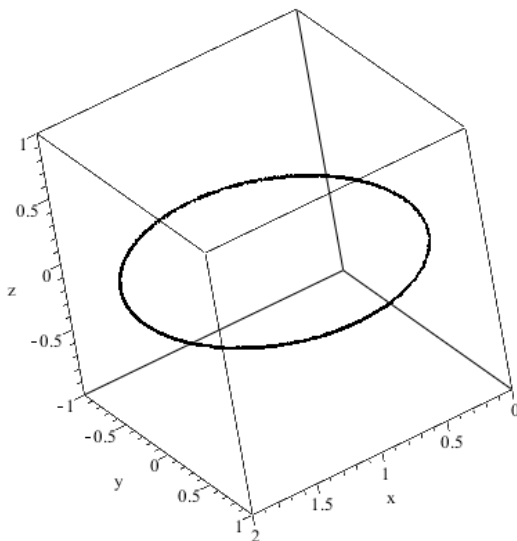


Рис. 1. Результат численного моделирования движения заряженной частицы в электромагнитном поле

### Библиографический список

1. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. – 2-е изд., пр. и доп. – М.: МИР, 1981. – 448 с.
2. Шпольский Э.В. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. – 4-е изд., пр. и доп. – М.: НАУКА, 1974. – 447 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.V. Атомная и ядерная физика. – 2-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002. – 784 с.

Д.А. Титов, Е.С. Чижова, студ.;  
рук. Н.В. Прохорова, ассистент, Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ С ПОМОЩЬЮ MS EXCEL

Физика является экспериментальной наукой. Обработка экспериментальных данных – трудоемкий процесс и требует времени. Для увеличения эффективности работы целесообразно использовать персональный компьютер (ПК). Удобной современной универсальной вычислительной средой является табличный процессор MS Excel.

При обработке измерений возникает задача аппроксимации экспериментальных данных аналитическими выражениями. Одним из распространенных методов решения данной задачи является метод наименьших квадратов (НК). Мы применяли MS Excel для решения двух типов задач:

1. Использование линейной аппроксимации методом НК. Пример использования данного способа приведен в лабораторной работе «Изучение температурной зависимости проводника и полупроводника» (рис.1) [1].

2. Аппроксимация более сложных видов зависимостей на примере лабораторной работы «Определение удельного заряда электрона методом магнетрона» (рис. 2) [2].

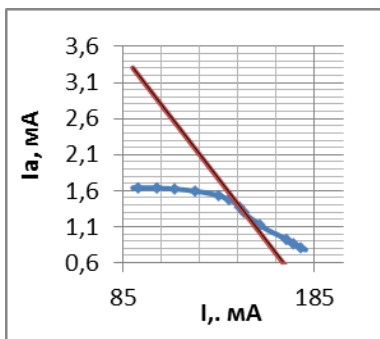


Рис.1

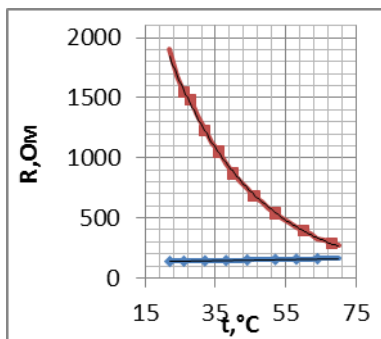


Рис.2

Табличный процессор MS Excel включает в себя программную надстройку "ПАКЕТ АНАЛИЗА" и библиотеку из большого числа статистических функций. Мы использовали несколько функций для построения линейной регрессии и экспоненциальной линии тренда.

Использование табличного процессора MS EXCEL позволяет осуществлять эффективную обработку простейших измерений пользователями любого уровня. Основная цель данной работы заключается в создании методики работы с измерениями в физическом практикуме по курсу общей физики. Обработанные данные являются составной частью электронного отчета, включающего в себя название работы, ее цель, описание экспериментальной установки, таблицы экспериментальных данных, результаты и графики. При помощи элементов М-книги (документы MS Word с выполняемыми блоками команд MATLAB и выводом текстовых и графических результатов) студенты смогут самостоятельно подготовиться к выполнению лабораторной работы, ответить на предложенные контрольные вопросы, обработать результаты опытов и построить графики. Кроме того, использование ПК позволит студентам применить знания и навыки, полученные в других учебных курсах, например, в курсе «Численные методы и математическое моделирование».

В настоящее время подготовлены электронные отчеты по некоторым лабораторным работам:

1. Изучение центрального столкновения шаров.
2. Определение скорости пули при помощи баллистического маятника.
3. Определения момента инерции тел методом трифилярного подвеса.
4. Определение коэффициента Пуассона методом стоячих звуковых волн.
5. Изучение адиабатного процесса методом Клемана-Дезорма.
6. Исследование электростатического поля методом моделирования.
7. Определение емкости конденсатора.
8. Определение удельного сопротивления проводника.
9. Изучение температурной зависимости сопротивления проводника и полупроводника.
10. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона.

#### Библиографический список

1. **Крылов, И.А.** Изучение температурной зависимости проводника и полупроводника. Метод. указания для выполнения лаб. работ/ И.А. Крылов; Федеральное агентство по образованию, ФГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет и м. В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 26 с.
2. **Крылов, И.А.** Определение удельного заряда электрона методом магнетрона. Метод. указания для выполнения лаб. работ/ И.А. Крылов; Федеральное агентство по образованию, ФГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 10 с.

*Д.Е. Дрязгов, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОГО 3D-ТРЕНАЖЕРА ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ**

В настоящее время все большую популярность набирает идея использования виртуальных тренажеров при изучении физики и технических дисциплин. В частности в лабораторном практикуме по электромагнетизму в настоящее время используется виртуальный лабораторный стенд, разработанный в ИГЭУ. Здесь присутствуют элементы визуализации и интерфейсные конструкции, позволяющие осуществлять виртуальный эксперимент в режиме 2D-имитации реальных операций, создавая иллюзию работы с реальной экспериментальной установкой. В то же время современные технологии позволяют создавать 3D-реальность с еще более высокой степенью реалистичности. Такие технологии используются, например, при создании компьютерных игр. Одним из наиболее популярных инструментов такого рода является пакет Unity, предназначенный для игровых приложений. Подобные приложения могут быть с успехом использованы в качестве лабораторных тренажеров.

В нашем случае пакет Unity был использован для создания визуального 3D-тренажера для выполнения лабораторных работ по электромагнетизму и электромеханике (рис. 1).

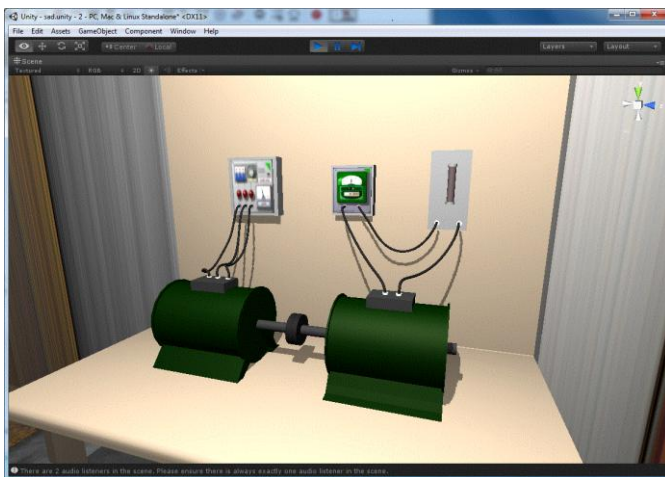


Рис. 1. Внешний вид 3D-тренажера по электромагнетизму и электромеханике

В качестве объекта исследования на рис. 1 представлен генератор постоянного тока, приводимый в движение гонным асинхронным двигателем. В качестве нагрузки используется реостат. Клеммы приборов и электрических машин соединены друг с другом гибкими проводами. При операциях с этими проводами они ведут себя подобно реальным проводам в соответствии с законами физики, создавая эффект виртуальной реальности. К стенду можно «подойти» с любой стороны, электрические приборы и электромеханические объекты можно «брать со склада» и «уносить на склад», произвольным образом передвигать их, изменять схему соединений и т.п.

Математический аппарат виртуального стенда-тренажера строится на основе матрицы соединений электрической цепи  $\mathbf{A}$ , которая в свою очередь формируется на основе анализа электрической цепи, собранной на рабочем столе виртуального стенда. Кроме того, на основе анализа цепи строится матрица номиналов элементов  $\mathbf{V}$  и вектор типов элементов  $\mathbf{T}$ . Эти матрицы передаются в динамически подключаемую библиотеку моделирования электрических цепей, которая формирует систему уравнений динамики, состоящую из трех подсистем:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{U}_C = [\text{Im}(\mathbf{G}_{CC})]^{-1} \begin{pmatrix} -\mathbf{G}_{CE} \mathbf{U}_E - [\text{Re}(\mathbf{G}_{CC})] \mathbf{U}_C - \\ -\mathbf{G}_{CR} \mathbf{I}_R - [\text{Re}(\mathbf{G}_{CL})] \mathbf{I}_L - \mathbf{G}_{CI} \mathbf{I}_I \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \mathbf{I}_L = [\text{Im}(\mathbf{G}_{LL})]^{-1} \begin{pmatrix} -\mathbf{G}_{LE} \mathbf{U}_E - [\text{Re}(\mathbf{G}_{LC})] \mathbf{U}_C - \\ -\mathbf{G}_{LR} \mathbf{I}_R - [\text{Re}(\mathbf{G}_{LL})] \mathbf{I}_L - \mathbf{G}_{LI} \mathbf{I}_I \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\mathbf{G}_{RR} \mathbf{I}_R = -\mathbf{G}_{RE} \mathbf{U}_E - \mathbf{G}_{RC} \frac{d}{dt} \mathbf{U}_C - \mathbf{G}_{RL} \frac{d}{dt} \mathbf{I}_L - \mathbf{G}_{RI} \mathbf{I}_I, \quad (3)$$

где  $\text{Im}$  – функция, возвращающая мнимые части элементов матриц;  $\text{Re}$  – функция, возвращающая вещественные части элементов матриц;  $\mathbf{G}$  – матрицы коэффициентов уравнений;  $\mathbf{U}_E, \mathbf{U}_C, \mathbf{I}_R, \mathbf{I}_L, \mathbf{I}_I$  – векторы неизвестных напряжений ( $U$ ) и токов ( $I$ ) в элементах электрической схемы замещения ( $E$  – источник ЭДС,  $I$  – источник тока,  $C$  – емкость,  $R$  – сопротивление,  $L$  – индуктивность).

Системы дифференциальных уравнений (1) и (2) интегрируются методом Эйлера или Рунге-Кутты с постоянным шагом интегрирования  $dt$ . Алгебраическая система уравнений (3) решается на каждом шаге интегрирования по времени. После расчета неизвестных напряжений и токов для  $t$ -й итерации результаты распространяются на всю электрическую цепь, то есть рассчитываются токи во всех ветвях и потенциалы во всех узлах электрической цепи. Токи и напряжения передаются в виртуальный стенд для отображения на панелях приборов.



Д.М. Севрюгов, соиск.; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО НА ОСНОВЕ ИЗОМОРФИЗМА УРАВНЕНИЙ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ И ДИФФУЗИИ

Известно, что одними и теми же по форме уравнениями описываются различные по своей природе явления. Это называется *изоморфизмом* уравнений. Зная математический формализм основных законов, мы можем перенести его на любой удобный для нас носитель, построив, таким образом, *модель* практически любого интересующего нас объекта, явления или процесса.

В частности, все физические поля описываются дифференциальными уравнениями в частных производных (ДУЧП). Это позволяет строить математические модели всех физических полей на основе, например, уравнения диффузии, которое легко смоделировать с использованием методов математической статистики.

Стационарное тепловое описывается уравнением Пуассона

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -p, \quad (1)$$

где  $T$  – температура;  $\lambda$  – удельная теплопроводность материала;

$$p = \frac{dP}{dV} \quad (2)$$

– плотность теплотер.

Рассмотрим идеализированный виртуальный процесс диффузии. Частицы рождаются в элементах, соответствующих источникам теплотер. Интенсивность зарождения частиц определяется величиной

$$\dot{C} = \frac{dm}{dVdt} = \frac{dC}{dt}, \quad (3)$$

где  $dm$  – суммарная масса частиц, народившихся в области пространства  $dV$  за время  $dt$ .

Народившиеся частицы совершают идеализированное броуновское движение с одинаковыми скоростями и одинаковыми длинами свободного пробега. Явление диффузии описывается уравнением:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial C}{\partial z} \right) = \dot{C}. \quad (4)$$

Плотность потока частиц через произвольную элементарную площадку  $dS$  можно вычислить из модели как

$$\bar{J} = \frac{1}{dS} \left( \sum_{i=1}^{dN_+} m_i - \sum_{j=1}^{dN_-} m_j \right) \vec{n}, \quad (5)$$

где  $d\dot{N}_+$ ,  $d\dot{N}_-$  – количество частиц, прошедших через элементарную поверхность  $dS$  за единицу времени соответственно в направлении нормали  $\vec{n}$  и в обратном направлении.

Так как в рассматриваемой модели скорость частиц и длина свободного пробега задаются произвольным образом, физический смысл коэффициента диффузии не соответствует традиционному физическому смыслу. В идеализированной модели коэффициент диффузии можно симитировать образно понятным процессом, для которого обосновано подобие с реальными процессами. Опыт показывает, что наиболее удачный алгоритм реализации коэффициента диффузии основан на понятии «относительной плотности среды». При этом среде с большим коэффициентом диффузии  $D$  соответствует большая плотность среды. Чем больше плотность среды, тем меньше частиц «просачивается» через нее, аналогичную барьеру на пути диффундирующих частиц.

Переход  $i$ -й частицы из  $k$ -й области с относительной плотностью среды  $D_k$  в  $l$ -ю область с относительной плотностью среды  $D_l$  при  $D_l > D_k$  сопровождается рождением новой частицы. При этом новая народившаяся частица наделяется массой

$$m_i' = \frac{D_k}{D_l} m_i'. \quad (6)$$

Исходная частица отражается от границы раздела сред и остается в  $k$ -й области. Ее масса при этом уменьшается до величины

$$m_i = m_i - m_i'. \quad (7)$$

При  $D_l < D_k$  частица свободно переходит из одной среды в другую.

В соответствии с теорией подобия независимые масштабы подобия можно вычислить следующим образом:

$$m_p = \frac{\dot{C}}{p}, \quad m_\lambda = \frac{D}{\lambda}; \quad m_L = \frac{L}{L_0} = \sqrt{\frac{S}{S_0}} = \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}}, \quad (8)$$

где  $L_0$ ,  $S_0$ ,  $V_0$  – соответственно длина, площади и объем в оригинале (в тепловой модели). При моделировании можно принять  $m_n = m_L = 1$ .

По первой теореме подобия можно вывести условия подобия уравнений диффузии с уравнениями теплового поля и сформулировать выражения для зависимых масштабов:

$$\frac{m_\lambda m_T}{m_q m_L} = 1, \quad \frac{m_\lambda m_T}{m_L^2 m_p} = 1 \Rightarrow m_T = \frac{C}{T} = \frac{m_L^2 m_p}{m_\lambda}, \quad m_q = \frac{J}{q} = m_L m_p, \quad (9)$$

где  $q$  – тепловой поток.

*И.А. Пайков, асп.; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ С ЗАМКНУТЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

В настоящее время расчет магнитных полей электротехнических устройств можно осуществлять в двух- и трехмерной постановке. Трехмерные модели обладают более высокой точностью, но при этом существенно уступают по времени расчету двумерным моделям. При этом актуальность приобретает проблема сокращения размерности модели без существенной потери точности. В качестве примера рассмотрим модели расчета трансформатора ТМГ-1000-10/0,4 (рис.1).

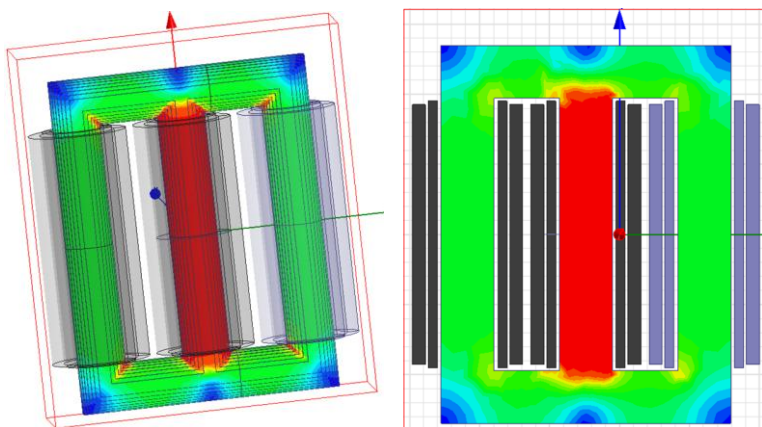


Рис. 1. 3D-модель (а) и 2D-модель (б) распределительного трансформатора ТМГ-1000-10/0,4

Так как в случае трансформатора, как и большинства электротехнических устройств, отсутствует плоскопараллельная и плоскомеридианная симметрия, возникает вопрос о корректности постановки полевой задачи в двухмерной постановке.

Двухмерные модели рассчитываются на единицу длины. Для того чтобы полученные значения магнитных потоков соответствовали действительным необходимо выполнять приведение моделей

$$\Phi_{3d} = k_{np} \Phi_{2d}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{3d}$ ,  $\Phi_{2d}$  – основной магнитный поток определённый соответственно в 3D- и 2D-модели;  $k_{np}$  – коэффициент приведения, определяемый как

$$k_{np} = \frac{S_{эф}}{b_{1n} l_m} \quad (2)$$

где  $S_{эф}$  – эффективное сечение стержня;  $b_{1n}$  – ширина 1 пакета стали сердечника;  $l_m$  – длина 2D-модели в третьем измерении.

Результаты расчета магнитного поля трансформатора ТМГ-1000-10/0,4 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета потоков трансформатора ТМГ-1000-10/0,4

Поток	3D-модель	2D приведенная к 3D	Расхождение, %
Основной, Вб	0,0473645	0,04843813	2,26

Из табл. 1 видно, что отклонение результатов вычислений основного потока, проходящего по сердечнику трансформатора, между 3D и 2D-моделями не превышает 5%, что говорит о высокой точности произведенного расчета и возможности использования двухмерной постановки задачи для определения распределения основного потока в электротехнических устройствах, в частности в трансформаторе.

Сильное влияние на определение индуктивности рассеяния обмоток могут оказывать граничные условия. В качестве примера были произведены расчеты индуктивности рассеяния для трансформатора ТМГ-1000-10/0,4. Расчет индуктивности рассеяния выполняем при помощи определения энергии магнитного поля рассеяния

$$L_{\sigma} = \frac{2W_{\sigma}}{i^2}, \quad (3)$$

где  $W_y = W - W_c$  – энергия поля рассеяния;  $W$  – вся энергия магнитного поля, запасенная в магнитной системе;  $W_c$  – энергия запасенная в сердечнике;  $i$  – ток в обмотке. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета собственной индуктивности рассеяния обмотки высшего напряжения трансформатора ТМГ-1000-10/0,4

	$W$ , Дж	$W_c$ , Дж	$W_y$ , Дж	$L_{\sigma}$ , Гн
По расчету поля с условием Дирихле	0,0004466	1,3E-08	0,0004465	0,0323
По расчету поля с условием Неймана	0,0004518	4,8E-09	0,0004518	0,0326
С баком	0,0004522	6,7E-09	0,0004522	0,0327

По результатам расчета видно, что граничные условия не оказывают сильного влияния при определении индуктивности рассеяния. Это связано, в первую очередь, с тем, что индуктивность рассеяния, которая напрямую зависит от потока рассеяния, очень мала.

*И.В. Еремин, соиск.;  
рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.; Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В 50-х годах XX века были получены металлические сплавы, не имеющие кристаллической структуры, которые стали называть аморфными металлическими стеклами. Аморфные сплавы – это сплавы, имеющие случайную (некристаллическую) структуру, отличающуюся от кристаллических сплавов способом изготовления и комплексом физических свойств. В структуре аморфных сплавов отсутствует периодичность в расположении атомов. По сравнению с кристаллическим металлом аморфные сплавы в несколько раз прочнее, имеют более высокую коррозионную стойкость и лучшие электромагнитные характеристики. В состав сплава входят две группы элементов: переходные металлы (Fe, Co) и так называемые аморфообразующие элементы – аморфизаторы (B, C, Si). Аморфная структура сплава получается только при определенной скорости его охлаждения – до десятков и даже сотен тысяч градусов в секунду.

На рис.1 показана структура обычного и аморфного сплава:

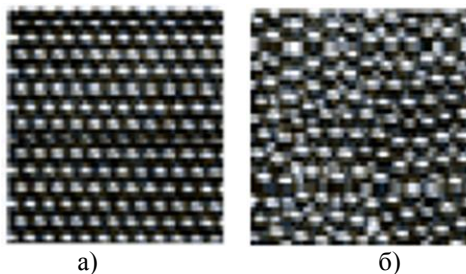


Рис.1. Сплав под микроскопом:

а – четкая кристаллическая структура обычного сплава; б – структура аморфного сплава

Аморфного состояния удастся добиться подбором химического состава сплава и использованием специальной технологии сверхбыстрого охлаждения со скоростью выше критической, для чего исходный расплав выливается на быстро вращающийся диск. При попадании на поверхность расплав охлаждается со скоростью около  $10^6$  К/с и пре-

вращается в ленту толщиной от 15 до 60 мкм. Придание материалам специфических свойств (например, петля гистерезиса определенной формы) достигается термической или термомагнитной обработкой, в результате которой структура ленты может остаться аморфной или стать частично кристаллизованной.

В материале с аморфной структурой кристаллиты расположены по всему объему ленты и имеют диаметр 10-20 нм. Благодаря этому достигается высокая магнитная проницаемость и малая коэрцитивная сила. Наряду с этим малая толщина ленты и относительно высокое удельное сопротивление (110–120 мкОм/см) обеспечивают низкие потери на вихревые токи. В результате магнитопроводы из аморфных и нанокристаллических сплавов имеют значительно меньшие удельные магнитные потери по сравнению с электротехнической сталью, пермаллоями и ферритами. Они обладают высокой относительной начальной и максимальной магнитной проницаемостью и индукцией насыщения на высоких частотах.

Чем тоньше сталь, тем меньше потери от вихревых токов. Однако с уменьшением толщины ленты растут коэрцитивная сила, потери на гистерезис. Особенно сильно возрастает коэрцитивная сила при толщине ленты менее 0,05 мм, вследствие чего минимальная толщина выпускаемой стали 0,025 мм, а максимальная частота – 20 кГц

Благодаря уникальным свойствам, аморфные сплавы получили широкое распространение в современной радиоэлектронной аппаратуре, в трансформаторостроении, устройств связи, импульсных трансформаторах с мощностью импульса до десятков МВт на частотах от 0,5 МГц и выше, измерительных трансформаторах тока и напряжения, согласующих трансформаторах, магнитных модуляторах, высокочувствительных датчиках переменного и постоянного тока, в качестве «магнитных ключей», в магнитных экранах, дросселях фильтров, насыщения, накопительных и т.д. В настоящее время в мировом трансформаторостроении прорабатывается вопрос об использовании аморфной стали при изготовлении силовых трансформаторов, работающих на промышленной частоте 50-60 Гц. Такие трансформаторы имеют пониженные в 4-5 раз потери холостого хода. Проведенный анализ показывает, что наибольшая эффективность от использования аморфной стали достигается в трансформаторах 1-го габарита.

#### Библиографический список

1. Судзуки К., Фудзимори Х., Хисимото К. Аморфные металлы». - М: Металлургия, 1987г. – 328 с.
2. Золотухин И.В. Физические свойства аморфных металлических материалов. - М.: Металлургия, 1986г. – 176 с.

*И.А. Корнев, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н. проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА SCILAB ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Особенность современных систем моделирования технических устройств состоит в использовании современных пакетов, каждый из которых специализирован к выполнению узкого класса задач. Следует отметить, что в настоящее время существуют математические пакеты, позволяющие оптимальным образом автоматизировать инженерные расчеты, например, MatLab, SciLab и др. В частности, MatLab легко интегрируется с распространенным пакетом Excel, который является признанным лидером при создании расчетных подсистем САПР. В состав MatLab входит ряд библиотек, позволяющий решать полный спектр задач численного моделирования физических процессов, традиционно присутствующих в составе САПР. В то же время стоимость лицензии на индивидуальное использование ядра MatLab без приложений составляет около 2150\$, коммерческая лицензия на MatLab стоит от 30000\$ и определяется комплектацией. Поэтому в настоящее время все чаще в качестве математического процессора выбирается открытый пакет численной математики со свободной лицензией SciLab, являющийся самой полной общедоступной альтернативой MatLab. Возможности Scilab могут быть расширены внешними программами и модулями, написанными на разных языках программирования. Программа имеет открытый исходный код, что позволяет как свободное, так и коммерческое использование.

Scilab – это пакет прикладных математических программ, предоставляющий открытое окружение для инженерных (технических) и научных расчетов, содержит множество математических функций, и имеет возможность добавления новых, написанных на различных языках. Scilab был спроектирован как открытая система, и пользователи могут добавлять в него свои типы данных и операции путём перегрузки. Кроме того, в Scilab имеется встроенная система имитационного моделирования Xcos, являющаяся аналогом Simulink.

Использование приложения Xcos для математического моделирования различных физических процессов может быть основано как на аппарате структурных схем, так и на основе электрических схем замещения. Так согласно теории подобия, различные по своей природе яв-

ления описываются изоморфными уравнениями, что позволяет строить модели интересующих нас явлений, процессов и объектов на любом удобном для нас носителе. Одним из наиболее удобных носителей для реализации математических моделей технических устройств является электрическая цепь. Поэтому построение и исследование электрических схем замещения реальных устройств являются наиболее популярными и распространенными методами моделирования. В частности, на рис. 1 представлены варианты решения задачи расчета электрической цепи с использованием цепной и структурных моделей.

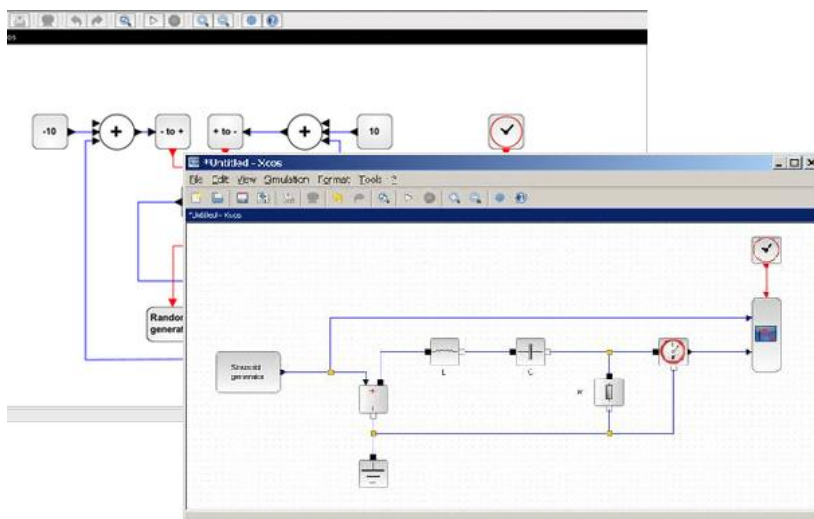


Рис 1. Структурная и цепная модели в среде Xcos

В настоящее время в среде SciLab с использованием Xcos разрабатывается цикл лабораторных работ по курсу «Моделирование физических процессов». Моделирование физических процессов различной природы осуществляется с использованием электрических схем замещения на основе первой теоремы подобия. В частности, в данных работах исследуются модели механического узла (амортизатора), термодинамической системы, магнитной цепи, а также комбинированной модели, в которой с помощью одной электрической схемы замещения одновременно представлены несколько физических процессов.



## СОДЕРЖАНИЕ

### *Секция 8. Атомные электрические станции*

Ахметшина Г.С. Математическое моделирование теплового состояния тепловыделяющей сборки на стационарном уровне мощности; рук. Кузнецов Г.В.	3
Бартош Р.Т. Анализ элементов ядерного реактора; рук. Карнцкий Н.Б.	5
Богдан Е.В. Особенности инновационного проекта Белорусской АЭС; рук. Карнцкий Н.Б.	7
Ботько Е.Н. Расчет режимов с нарушением условий охлаждения реакторной установки со стороны второго контура реактора ВВЭР; рук. Белозеров В.И.	9
Чиж Е.П. Анализ теплогидравлических параметров РУ с использованием симулятора ВВЭР-1000; рук. Буров А.Л.	11
Легкоступова В.В. Моделирование двухфазного потока в СПП для АЭС с реакторами РБМК; рук. Судаков А.В.	13
Мартынова К.А., Фадеева Ю.А., Добров А.А. Оптимизация характеристик перемешивающей решетки ТВС реактора PWR с использованием трехмерных программ вычислительной гидродинамики; рук. Хробостов А.Е.	15
Ушева К.И. Расчет характеристик отражателя для реактора ВВЭР; рук. Кутень С.А.	16
Соболев А.В. Применение отраслевых данных о надежности человеко-машинных комплексов реакторных установок при принятия управленческих решений, и результаты его применения на примере Балаковской АЭС; рук. Волков Ю.В.	18
Клемешова Ю.Г. Исследование надежности контура естественной циркуляции; рук. Дунцев А.В.	20
Сазонов Д.Р. Системы пассивного расхолаживания на основе естественной циркуляции воздуха; рук. Аношкин Ю.И.	22
Теплов А.М. Моделирование аварийного режима кратковременной потери управления мощностью в реакторах ВВЭР; рук. Семенов В.К.	24
Балалаев А.В., Прокофьев Д.Э. Изучение сепарации пара в парогенераторах ПГВ-1000М в пакете ANSYS; рук. Горбунов В.А.	26
Лепилов Л.В. Разработка КОС по технологической системе дистиллята энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	28

## *Содержание*

---

Волкова О.Ю. Обеспечение Калининской АЭС электроэнергией в аварийных ситуациях при полном обесточивании; рук. Горбунов В.А.	30
Егоров С.Е., Левшанова Н.В., Попов Н.М. Перегрев пара на АЭС с использованием паровых компрессоров; рук. Ильченко А.Г.	32
Катаев М.В. Экономическая конкурентноспособность АЭС с ТЭС на буром угле в зависимости от стоимости углеводородного сырья; рук. Горбунов В.А.	34
Кирдяшкина А.В. Разработка КОС по технологической системе деаэрационной установки питательной воды энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	36
Кириллов А.Е. Повышение эффективности работы питательных насосов; рук. Горбунов В.А.	38
Коркодинов П.В., Чигирева Д.В., Лоншаков Н.А. Исследование зависимости КПД турбопитательного насоса от температуры окружающей среды на основе средств компьютерного моделирования; рук. Горбунов В.А.	39
Крылов И.П. Методика определения коэффициентов реактивности на имитаторе реактора ВВЭР-1000; рук. Семенов В.К.	41
Lonshakov N.A., Dunaev V.A. Improving the efficiency of NPP thermal and mechanical equipment; рук. Gorbunov V.A., Filatova M.V.	43
Лепилов Л.В. Разработка КОС по технологической системе дозирования химических реагентов в первый контур энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	45
Шуняев А.Е. Разработка КОС по технологической системе борсодержащей воды энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	47
Митрофанова Е.С. Выбор альтернативного источника энергии для обеспечения Ленинградской АЭС электроэнергией в аварийных и чрезвычайных ситуациях; рук. Горбунов В.А.	48
Груздев С.В. Эффективность применения парогазовой установки с котлом-утилизатором двух давлений на АЭС с ВВЭР-ТОИ; рук. Ильченко А.Г.	50
Чечуй М.В., Нестерец Д.И., Разуваев Н.О., Железов Н.С. Исследование технологических систем первого контура энергоблока ВВЭР-1000 для разработки полной тепловой схемы; рук. Булавкин Г.В.	52

Коллегаев В.С., Ширшов А.А. Исследования состояний энергетического блока при отказах общецлочных защит, обусловленных изменением реактивности; рук. Семенов В.К.	54
Нестерец Д.И., Чечуй М.В., Железов Н.С., Разуваев Н.О. Исследование технологических систем второго контура энергоблока ВВЭР-1000 для разработки полной тепловой схемы; рук. Булавкин Г.В.	56
Попов Н.М. Аккумуляция тепловой энергии на АЭС; рук. Ильченко А.Г.	58
Разуваев Н.О., Железов Н.С. Основные результаты исследования отключения регенеративного подогрева питательной воды энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	60
Щепин С.А. Разработка КОС по технологической системе дожигания водорода энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	62
Солунина О.М. Повышение надежности Нововоронежской АЭС на основании использования возобновляемых источников энергии; рук. Горбунов В.А.	64
Шеберстов П.С., Зимин А.И. Возможности применения технологии АЭС-ТНС; рук. Ильченко А.Г.	66
Кирдяшкина А.В. Разработка КОС по технологической системе аварийной подачи питательной воды в парогенераторы энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	68
Железов Н.С., Разуваев Н.О. Основные результаты исследования аварийных режимов работы энергоблока ВВЭР-1000 с исходными событиями в первом контуре; рук. Булавкин Г.В.	70
Норкин А.В. Модернизация сепараторов-пароперегревателей блока с реактором ВВЭР-440; рук. Андрианов С.Г.	72
Сметанин А.В. Основные результаты разработки КОС по технологическим системам маслоаппаратных энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	73
Вольман М.А. Симуляция некоторых технологических режимов на имитаторе энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000; рук. Семенов В.К.	75
Шуняев А.Е. Разработка КОС по технологической системе борного концентрата энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	77
Максимов Н.М. Реакторы АЭС с микротвэлами; рук. Ильченко А.Г.	78

---

Щепин С.А. Разработка КОС по технологической системе очистки технологических сдувок энергоблока ВВЭР-1000; рук. Булавкин Г.В.	80
Соловьев И.М. Реактор-стеллатор WENDELSTEIN 7-X – прототип термоядерного реактора будущего; рук. Ильченко А.Г.	82
Виниченко И.Н., Гришко Б.А., Демидов Д.А. Создание и исследование виртуальных моделей систем первого контура энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000; рук. Вольман М.А.	84

*Секция 9. Теплообмен в промышленных установках*

Хамидулина М.С., Додов И.Р. Радиационный теплообмен в многокамерных топках и теплообменниках; рук. Москаленко Н.И.	85
Ракитин А.С. Разработка неохлаждаемых тоководов ВТСП трансформатора; рук. Флейшман Л.С.	87
Вараксин А.В. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности слоя бытовых отходов; рук. Габитов Р.Н.	89
Панкратова А.В., Забавина Н.М. Оценка эффективности тепловых насосов при теплоснабжении жилого дома; рук. Нагорная О.Ю.	90
Муратова Т.В. Моделирование процесса сушки слоя твердых отходов; рук. Колибаба О.Б.	92
Скворцов И.А. Моделирование тепло-и массообменных процессов в слое твердых бытовых отходов при их термической переработке; рук. Горинов О.И.	93
Егорова Е.С. Исследование эффективности циклонного пылеуловителя; рук. Долинин Д.А.	94
Власова В.А. Исследование процесса пиролиза органосодержащих отходов; рук. Самышина О.В.	96
Коротаева Н.М. Экспериментальное исследование гидравлического сопротивления порозного слоя; рук. Колибаба О.Б.	97
Потехин А.Е., Акимова М.А. Экспериментальное исследование влияния фильтрации на процесс нагрева насыпных садов; рук. Колибаба О.Б.	98
Кувшинов Н.В. Математическое моделирование систем пылегазоочистки в программном модуле ANSYS FLUENT; рук. Долинин Д.А.	99

Семенов А.С. Исследование гидравлического сопротивления  
слоя ТБО; рук. Колибаба О.Б. 101

*Секция 10. Безопасность жизнедеятельности  
в техносфере*

- Савинов А.В. Моделирование полигона для работы робота-  
дозиметриста; рук. Андреев В.В. 104
- Малоземов С.Н. Создание инновационного модульного  
дозиметра «РАДОН-Д»; рук. Семененко А.Н. 105
- Мужжухина Т.В. Оценка профессионального риска для  
электрогазосварщика; рук. Пышненко Е.А. 107
- Гаврилова А.А. Пожароопасность разъемных и неразъемных  
контактов; рук. Горбунов А.Г. 109
- Трунова А.С. Защита от воздействия ЭМП СВЧ;  
рук. Горбунов А.Г. 110
- Тихомирова Е.В. Анализ результатов СОУТ на предприятии  
«ООО Верхневолжский сервисный металло-центр»;  
рук. Овсянников Ю.М. 112
- Балашова Е.А. Происшествия и техногенные воздействия,  
сопровождающие производство и применение водорода на  
электростанция; рук. Чернов К.В. 115
- Булдакова А.Д. Происшествия и техногенные воздействия,  
сопровождающие применение масел на электрических  
подстанциях; рук. Чернов К.В. 116
- Матвеева А.А. Вариофикация техногенных пожарных  
воздействий, возникающих при использовании мазута на  
электростанциях; рук. Чернов К.В. 117
- Жаравина Е.А. Анализ причин и последствий радиационной  
аварии на химкомбинате «Маяк»; рук. Овсянников Ю.М. 118
- Павлов М.А. Тяжелый металл как фактор опасности;  
рук. Мельцаев И.Г. 120
- Егорова В.Ю. Воздействие токсинов животного  
происхождения на состояние здоровья человека;  
рук. Мельцаев И.Г. 122
- Зеленова А.С. Опасность микотоксинов на здоровье  
человека; рук. Мельцаев И.Г. 124
- Волков А.С. Вредное воздействие электромагнитных полей  
на биологические объекты; рук. Мельцаев И.Г. 126

## Содержание

---

Шишкина Д.В. Вариофикация техногенных взрывных воздействий, возникающих при производстве и применении водорода на электростанциях; рук. Чернов К.В.	129
Харламов А.В. Оценка опасных свойств трансформаторного масла; рук. Попов Г.В.	130
Тимаев М.Б. Расчет параметров для оценки воздействия токсичного вещества на человека; рук. Рогожников Ю.Ю.	132
Дроздов А.А. Оценка воздействия внешнего гамма-излучения на человека; рук. Рогожников Ю.Ю.	134
Головцева Е.А. Расчетная оценка уровней опасных и вредных факторов; рук. Рогожников Ю.Ю.	136
Тарасова О.С. Расчет параметров для оценки воздействия взрыва на человека; рук. Рогожников Ю.Ю.	138
Шаулова А.А. Автоматизация обработки результатов исследования функционирования сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека; рук. Пышненко Е.А.	140
Желобанова М.А. Разработка базы данных для тестирования по учебному курсу «Экологическая экспертиза проектов»; рук. Соколов А.К.	142
Исаева Е.Н. О влиянии метода оценки коэффициента турбулентной диффузии на точность расчета процесса разбавления сточных вод; рук. Соколов А.К.	144
Мусикова А.Ю. Автоматизация обработки результатов психофизиологических исследований человека; рук. Пышненко Е.А.	147
Тихомирова Е.В., Кошокина М.А. О влиянии высоты трубы на процесс рассеивания выбросов; рук. Соколов А.К.	149
Желобанова М.А. Воздействие метана на работников газораспределяющих предприятий; рук. Попов Г.В.	151
Буйлова С.И. Оценка пожароопасности жилого помещения; рук. Пышненко Е.А.	152
Самойлов А.М., Копосов А.А., Никитин И.А. Оценка безопасности функционирования силового трансформатора на основе результатов хроматографического анализа; рук. Попов Г.В.	154
Павлова А.О. Управление индивидуальным профессиональным риском; рук. Горбунов А.Г.	155
Головцева Е.А. О минимально допустимой высоте источника выбросов газов SO <sub>2</sub> и NO <sub>2</sub> ; рук. Соколов А.К.	157

*Секция 12. Моделирование физических процессов*

Козловский А.Л. Модификация свойств Со – нанотрубок путем электронного облучения; рук. Кадыржанов К.К.	160
Макаревич К.О. Оценка доз облучения пациента при дентальных рентгенологических исследованиях; рук. Миненко В.Ф.	161
Комар Д.И. Моделирование метрологических характеристик установки УПН-АТ140; рук. Кутень С.А.	163
Комар Д.И. Монте-Карло моделирование зависимости чувствительности счетчика Гейгера-Мюллера от энергии гамма-квантов; рук. Кутень С.А.	166
Крестьянинова О.В. Использование наноматериалов для улучшения качества питьевой воды; рук. Шипко М.Н.	168
Масляев М.В. Влияние состава полимерного композита на его прочностные свойства; рук. Шипко М.Н.	169
Кабанов В.О. Магнитное поле системы двух постоянных магнитов; рук. Поляков П.А.	170
Потехин Н.И., Ратников В.В. Моделирование материальных точек; рук. Крестниковская Е.А., Неверов И.В.	173
Авдеева Е.В., Овчарук А.Н. Свойства магнитных жидкостей с модифицированной дисперсной фазой; рук. Крестниковская Е.А., Неверов И.В.	174
Романов А.А., Ежов А.М. Визуализация процессов переноса при ЭХО металлов; рук. Демьянцева Н.Г., Кузьмин С.М.	176
Фадеева М.С. Моделирование с помощью MAPLE движения заряженной частицы в электромагнитном поле; рук. Шмелева Г.А.	178
Титов Д.А., Чижова Е.С. Обработка измерений в физическом практикуме с помощью MS Excel; рук. Прохорова Н.В., Шмелева Г.А.	180
Дрягзов Д.Е. Разработка визуального 3D-тренажера по электромагнетизму и электромеханике; рук. Тихонов А.И.	182
Севрюгов Д.М. Моделирование методом Монте-Карло на основе изоморфизма уравнений теплового поля и диффузии; рук. Тихонов А.И.	184
Пайков И.А. Анализ точности расчетов магнитного поля в устройствах с замкнутым ферромагнитным сердечником; рук. Тихонов А.И.	186

## *Содержание*

---

Еремин И.В. Использование аморфных ферромагнитных сплавов при производстве силовых трансформаторов; рук. Тихонов А.И., Попов Г.В.	188
Корнев И.А. Использование открытого математического процессора SciLab для моделирования физических процессов различной природы; рук. Тихонов А.И.	190



# **ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**

**ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2016»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**  
Том 2

*Печатается в авторской редакции  
Составитель Вольман М.А.*

Подписано в печать 03.03.2016. Формат 60x84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л.  
Тираж 50 экз. Заказ №  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.