

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

---

## **ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**

# **«ЭНЕРГИЯ-2014»**

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

**г. Иваново, 15-17 апреля 2014 г.**

## **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 2**

---

ИВАНОВО

ИГЭУ

2014

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

## **ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**

//Девятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2014»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 2 – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2014. – 344 с.

Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых отражает основные направления научной деятельности вузов России и стран СНГ 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:** ТЮТИКОВ 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; Попель О.С. – заведующий лабораторией ОИВТ РАН.

**Ответственный секретарь:** Маршалов Е.Д. – зам. декана ИВТФ.

**Секретарь:** Вольман М.А. – ассистент кафедры АЭС.

**Координационная группа:** Смирнов Н.Н., Иванова О.Е., Ильченко А.Г., Ведерникова И.И., Филатова Г.А.

## СЕКЦИЯ 9

# ЭКОНОМИЧНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*Председатель – к.т.н., доц. А. Г. Ильченко  
Секретарь – асс. М.А. Вольман*

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

## ТОРИЙ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ РЕАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ

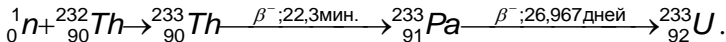
Уран является довольно редким элементом. Его содержание в земной коре равно  $4 \times 10^{-4}$  %, а разведанные запасы рудных образований достигают 40 млн. тонн. Возможно, что к 2020-му году добыча урановой руды в мире достигнет 1,5 млн. тонн. Тогда разведанных запасов хватит лишь на 40-50 лет и к середине XXI столетия они иссякнут. Содержание тория-232 в земной коре оценивается величиной  $10^{-3}$  % и в три раза превышает содержание урана [5]. Кроме того, реализованный сегодня на АЭС (с реакторами на тепловых нейтронах) открытый урановый топливный цикл имеет ряд недостатков: большая стоимость долговременных хранилищ и полигонов для захоронения, трудности обеспечения долговременной изоляции ТВС от биосферы, затраты на постоянную вооруженную охрану захоронений. Это объясняет интерес к изысканиям в области использования этого металла в качестве ядерного топлива на реакторах различных типов.

### **Достоинства ториевого цикла**

Ториевые ЯЭР в отличие от урановых не нарабатывают плутоний, что важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения ядерного оружия. Кроме того, долгоживущие второстепенные актиноиды, формирующиеся в результате реакций захвата в ториевом цикле присутствуют в меньших количествах, особенно по сравнению с плутониевым [3].

Применение тория в качестве топлива на ЯР обусловлено возможностью образования делящегося изотопа урана-233 в результате захвата теплового нейтрона природным торием-232.

Уран-233 дает в тепловом спектре нейтронов примерно 0,2 “дополнительных” нейтрона по сравнению с ураном-235 и плутонием-239 и является основой торий-уранового ЯТЦ [2]:



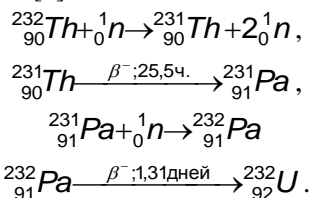
Дополнительные нейтроны можно использовать для повышения эффективности топливного цикла.

### Недостатки ториевого цикла

Однако, ториевый цикл имеет и свои недостатки. Сконструировать реактор, который смог бы работать только на тории невозможно. Сам торий-232 не может непосредственно являться ядерным топливом, поэтому в энергетике рассматриваются топливные смеси на основе тория и урана-235, а также тория и плутония-239.

Отмеченный выше в цепочке превращений изотоп палладий-233 имеет достаточно длительный период полураспада (порядка 27 дней), а значит имеет место выбег реактивности после остановки реактора, обусловленный формированием урана-233, что следует учитывать при проектировании и эксплуатации.

С точки зрения переработки ОЯТ основным недостатком является присутствие источников жесткого  $\gamma$ -излучения. Это связано с накоплением в ходе топливной кампании урана-232 при протекании двухстадийной побочной реакции [1]:



В цепочке распада урана-232 в свинец присутствуют такие источники жесткого  $\gamma$ -излучения, как изотопы Вi-210 (энергия  $\gamma$ -излучения 1,6 МэВ), Ро-212 (2,6 МэВ), Тl-208 (2,6 МэВ). Поэтому изготовление и переработка такого топлива должно быть организовано при полной защите от жесткого  $\gamma$ -излучения, что является дорогостоящей технологией.

### Состояние ядерных данных для ториевого ЯТЦ [1]

Для перехода к расчетам, на основе которых будут вырабатываться программные решения или определяться предполагаемые затраты на

внедрение нового топливного цикла, необходимо довести базу ядерных данных для торий-уранового ЯТЦ до уровня достоверности, близкого к достоверности базы ядерных данных для уран-плутониевого ЯТЦ.

**Таблица 1. Разброс данных по сечениям реакций**

| Нуклид            | Сечение деления      | Сечение неупругого рассеяния | Сечение радиационного захвата   | Сечение реакции (n, 2n) |
|-------------------|----------------------|------------------------------|---|-------------------------|
| Th <sup>232</sup> | 20 – 25 %            | 15 – 50 %                    | 10 – 30 %   | 15 – 20 %               |
| Pa <sup>231</sup> | 30 – 40 %            |                              | данные идентичны  | 40 %                    |
| Pa <sup>233</sup> | различаются в 2 раза |                              | энергетическая зависимость экспериментально не исследовалась            | различаются в 3 раза    |
| U <sup>232</sup>  | различаются в 2 раза |                              | только для Максвелловского спектра нейтронов (измерены 25-45 лет назад) | различаются в 10 раз    |
| U <sup>233</sup>  | до 20 %              | 40 – 50 %                    | различаются в 5 - 10 раз  | 20 – 100 %              |

**Резонансное поглощение в системе топливо-замедлитель [1]**

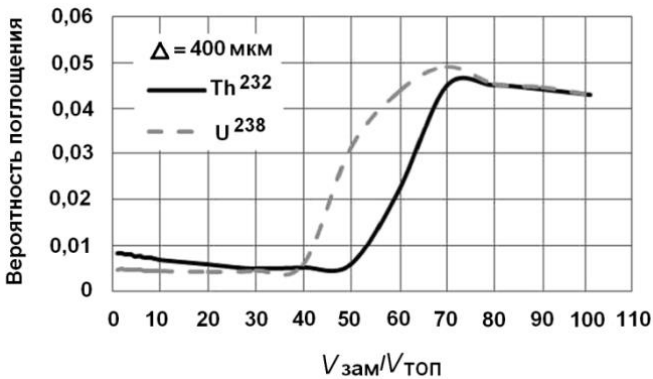


Рис. 1. Резонансное поглощение при графитовом замедлителе

Из рисунка 1 видно, что при  $V_{зам}/V_{топ} \approx 50$  резонансное поглощение в урансодержащей системе превосходит таковое в торийсодержащей почти в 6 раз.

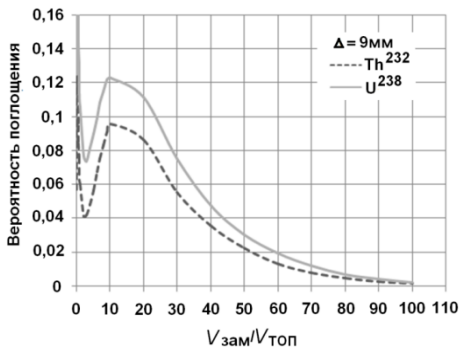


Рис. 2. Резонансное поглощение при водном замедлителе

При  $V_{\text{зам}}/V_{\text{топ}} \approx 2$  резонансное поглощение в урансодержащей системе почти в 2 раза превосходит таковое в торийсодержащей системе.

#### **Замена сырьевого нуклида в топливе**

Замена урана-238 на торий-232 в топливе приведет к снижению внутреннего блок эффекта, возрастанию количества делений при том же объеме топлива и увеличению предельного выгорания топлива (на уровне  $100\text{МВт}\cdot\text{сут}/(\text{кг т.м.})$ ).

#### **Свойства топлива на основе тория**

Сплавы тория с ураном радиационно стойки, хорошо сопротивляются газовому распуханию. Хорошую размерную стабильность при облучении показали и сплавы тория, легированные плутонием.

Двуокись тория во многом сходна с двуокисью урана. Первая имеет высокую температуру плавления ( $\sim 3300^\circ\text{C}$ ) и не окисляется на воздухе. Двуокись тория – хрупкий материал. Предел прочности на сжатие при  $20^\circ\text{C}$  24,5 Мпа. Теплопроводность двуокиси тория незначительна и уменьшается с повышением температуры, приближаясь к теплопроводности двуокиси урана. Двуокись тория также совместима с различными материалами активной зоны современных тепловых реакторов в диапазоне рабочих температур. Спеченная двуокись тория не взаимодействует с углекислым газом и устойчива в воде до  $300^\circ\text{C}$ . Спекание смесей двуокиси урана и тория можно производить на воздухе. Поведение твердого раствора двуокиси тория и двуокиси урана при облучении сходно с поведением двуокиси урана [4].

### Топливные загрузки

Рассмотрим различные топливные загрузки.

На рис. 3 ТВС типа В, В1 и В2 – бланкетные, содержащие топливные композиции  $\text{ThO}_2\text{-U}^{235}\text{O}_2$  с концентрацией  $\text{U}^{235}$  3,8 % (В); 4,8 % (В1) и 6,8 % (В2).

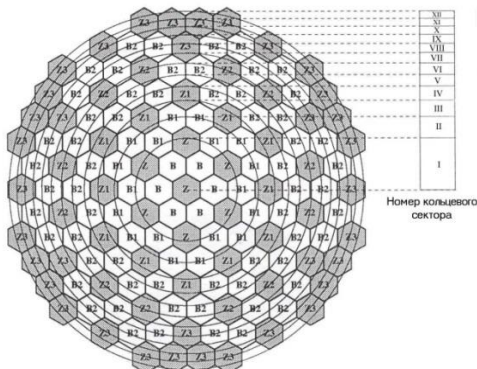


Рис. 3. Компоновка активной зоны

ТВС типа Z, Z1, Z2 и Z3 – запальные, содержащие топливные композиции  $\text{ThO}_2\text{-Pu}^{239}\text{O}_2$  с концентрацией  $\text{Pu}^{239}$  6,9 % (Z); 8,9 % (Z1); 10,9 % (Z2) и 12,9 % (Z3).

Перспективен вариант ориентации на использование стартовых ториево-плутониевых загрузок. На первом этапе можно использовать оружейный плутоний или плутоний из выгружаемого топлива реакторов на тепловых нейтронах. Потом при замыкании топливного цикла по урану-233 следует переходить на топливные загрузки с ураном-233, который будет нарабатываться в тепловых и быстрых реакторах. Так, например, норвежская компания Thor Energy в середине прошлого года запатентовала рецепт ядерного топлива, состоящего на 90% из тория и на 10% – из плутония. Норвежцы заявили, что создали топливо не для экспериментальных, а для промышленных реакторов, прежде всего – легководных [6].

Расчеты, проводимые в Национальном исследовательском томском политехническом университете показали, что по основным параметрам (эффективный коэффициент размножения, доля запаздывающих нейтронов, длительность кампании, глубина выгорания) комбинированные (Th-U-Pu) загрузки и ториево-плутониевые превосходят стандартные ( $\text{U}^{235}\text{-U}^{238}$ ) загрузки [1].

## **Выводы**

На сегодняшний день не все ресурсы физики ядерного топлива и ядерного материаловедения задействованы. Пока достаточные ресурсы дешевого природного урана и особенности ториевого топлива сдерживают внедрение ториевого ЯТЦ. Однако торий обладает несомненным потенциалом в области применения его как ядерного топлива с возможностью замкнуть топливный цикл.

## **Библиографический список**

1. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/m/2013/m08.pdf>
2. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1097>
3. Перспективы ториевого топливного цикла: доклад на семинаре, июль 1996 г. / Объединенный исследовательский центр; Мишель Лунг.
4. Герасимов В.В. Материалы ядерной техники: учебник для вузов / В.В. Герасимов, А.С. Монахов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 289 с.
5. Черноруков Н.Г. Уран. Прошлое, настоящее и будущее: электронное учеб. пособие / Н.Г. Черноруков, О.В. Нипрук. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. – 52 с.
6. <http://expert.ru/northwest/2013/28/mirnyij-atom-bez-kavyichek/>

*Н.А. Лоншаков, студ.; рук. В.А. Горбунов, к.т.н., доц.;  
С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛАЖНОПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Целью работы является поиск путей повышения эффективности работы влажнопаровых турбин атомных станций при помощи нейросетевых технологий.

Вопрос эффективной энергетической эксплуатации оборудования сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Проводится ряд мероприятий по повышению эффективности работы энергоблоков атомных станций, повышению уровня мощности до 104%, а в дальнейшем, до 107% от номинальной. Повышение мощности обосновывается возможностями реактора и парогенератора, однако поведение турбоустановки, изменение ее КПД в перегрузочных режимах остается неизвестным. Для прогнозирования изменения технологических параметров, прогнозирования изменения КПД энергоблока в последнее



время активно используется математическое моделирование физических процессов, проходящих в энергетических установках.

Данное исследование направлено на решение конкретных прикладных задач в области повышения эффективности работы влажно-паровых турбин АЭС на основе алгоритмов искусственного интеллекта – нейронных сетей.

В настоящее время на российских АЭС используются влажнопаровые турбины К-1000-60/3000 ЛМЗ (Калининская АЭС 3,4), К-1000-60/1500 ХТГЗ (Калининская АЭС 1,2; Балаковская АЭС; Ростовская АЭС 1,2), К-220-44 ХТГЗ (Кольская АЭС; Нововоронежская АЭС 3,4), К-500-65/3000 ХТГЗ (Ленинградская АЭС; Смоленская АЭС; Курская АЭС). Основные характеристики данных турбоагрегатов представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Основные характеристики турбин АЭС**

| Основные показатели   | К-220-44            | К-1000-60/1500       | К-1000-60/3000        | К-500-65/3000        |
|---|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Мощность, МВт.  | 220                 | 1000                 | 1000                  | 500                  |
| Частота вращения, с <sup>-1</sup>                                 | 50                  | 25                   | 50                    | 50                   |
| Начальное давление, МПа   | 4,3                 | 5,88                 | 5,88                  | 5 6,4                |
| Давление в конденсаторе, кПа                                      | 5                   | 4                    | 4                     | 4                    |
| Разделительное давление, МПа                                      | 0,300               | 1,2                  | 0,583                 | 48 0,3               |
| Температура перегрева, °С   | 241                 | 250                  | 250                   | 265                  |
| Температурный напор на выходе из промежуточного перегревателя, °С | 13,9                | 24,3                 | 24,3                  | 5 14,                |
| Конечный перегрев питательной воды в регенеративной системе, °С   | 225                 | 225                  | 220                   | 165                  |
| Расход пара на турбину при номинальном режиме, т/ч                | 1439                | 6160                 | 6430                  | 5 285                |
| Количество двухпоточных ЦНД                                       | 2                   | 3                    | 4                     | 4                    |
| Количество выхлопов   | 4                   | 6                    | 8                     | 8                    |
| Мощность на один выхлоп, МВт                                      | 55                  | 166                  | 125                   | 5 62,                |
| Общая длина турбины + генератор, м                                | 42,0                | 57,8                 | 74,0                  | 56                   |
| Удельный расход теплоты на турбинную установку брутто, кВт ч/кВт  | 3,2·10 <sup>3</sup> | 2,88·10 <sup>3</sup> | 0 <sup>3</sup> 2,92·1 | 3,08·10 <sup>3</sup> |

Существует целый ряд показателей для оценки эффективности использования мощности атомных станций. Все они, так или иначе, основаны на сопоставлении фактических показателей производственной деятельности АЭС с максимально достижимыми проектными параметрами. Эти показатели по большому счету разбиваются на две группы: в основе первой – мощность или выработка электроэнергии, второй – время работы. Самым ярким примером первой группы является коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), второй – коэффициент технического использования (КТИ).

КТИ – это отношение чистого времени работы реактора за выбранный период к продолжительности этого периода. КТИ обратно пропорционален простоям и косвенно характеризует надежность работы энергоблока. Однако данный коэффициент не отражает в полной мере техническую эффективность эксплуатации, поскольку не учитывает реальную загрузку блока.

Поэтому основным мерилom эффективности, лучше всего характеризующим фактическую отдачу от АЭС, считается КИУМ.

Для отдельного блока он определяется как отношение среднеарифметической мощности за выбранный интервал времени к установленной мощности, либо как отношение фактической выработки электроэнергии к максимально достижимой на номинальной мощности.

За последние 10 – 15 лет наивысший средний КИУМ (в диапазоне 90 – 95 %) был достигнут в Финляндии, Южной Корее, США, Нидерландах, Швейцарии, Словении, Румынии, острове Тайвань. КИУМ Российских энергоблоков АЭС с 2000-х годов закрепился на уровне 80-85%. Общей причиной успеха стран-лидеров по показателю установленной мощности является оптимизация практики эксплуатации АЭС на фоне благоприятствующего этому государственного регулирования [2].

Повышение эффективности перевода внутриядерной энергии топлива в электрическую энергию прямым образом повлияет на КИУМ в сторону его увеличения.

Потери на каждом этапе перевода энергии отражаются в ряде коэффициентов полезного действия.

КПД реакторной установки отражает потери на рассеивания энергии в окружающую среду и потери связанные с очисткой теплоносителя, составляет 90-99%.

Транспортный КПД отражает потери при транспортировке рабочего тела/теплоносителя в трубопроводах, составляет 95-98%.

КПД парогенератора, отражающий потери при теплообмене, составляет 98-99%.

КПД турбоустановки включает в себя термический КПД, относительный внутренний КПД турбины, механический КПД, КПД электрогенератора. Суммарное значение КПД турбоустановки составляет около 35%.

Повышение КПД турбоустановки, а следовательно, повышение КПД энергоблока в целом возможно за счет максимального приближения термического КПД к КПД цикла Ренкина для насыщенного пара.

В процессе эксплуатации турбоустановки оператором снимается значение ряда технологических параметров, которые в той или иной степени влияют на КПД. К таким параметрам относятся:

- электрическая мощность на клеммах генератора;
- давление пара перед турбиной;
- давление пара за турбиной, зависящее от работы конденсатора и температуры окружающей среды;
- температура пара перед турбиной;
- расходы пара на регенеративные теплообменники;
- давления в отборах на регенерацию;
- температура и давление в тракте основного конденсата и питательной воды;
- разделительное давление на промежуточный перегрев;
- температура и расход греющего пара на промежуточный перегрев;
- температура рабочего тела после промежуточного перегрева;
- степень сухости пара.

Все эти параметры, в процессе работы блока, подвержены колебаниям.

На основе снимаемых в процессе эксплуатации статистических данных технологических параметров можно построить модель режима работы данной турбины с использованием нейросетевой технологии. Программами для построения нейросетевой модели являются: Neural Works pro, Neurosolutions, Brain Maker, NeuralBench, NeuroShell. [1]

Цели создания нейросетевой модели:

- установление количественной зависимости изменения мощности от изменения технологических параметров;
- выявление наиболее экономичных режимов работы турбоустановки, с максимальным КПД.

Наполнение нейросетевой модели необходимо проверить по основным эксплуатационным данным, полученным во время эксплуатации турбоустановки.

Следующим шагом проводится верификация и делается заключение о работоспособности модели.

Использование нейросетевых технологий в процессе анализа эффективности работы конкретного энергоблока дает возможность выявить режимы работы турбоустановки, при которых будет достигнуто увеличение КПД для данного блока, а как следствие – увеличение КИУМ.

#### 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.
2. **Шульга И.** Эффективность использования мощности. /И. Шульга// журнал Атомэксперт. – 2013. - №5.

*А.Л. Сироткина, студ.; рук. И.И. Лощаков, д.ф.-м.н., проф.  
(СПбГПУ, Санкт-Петербург)*

### **РАБОТА ВОДООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА НА СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ**

"Энергетической стратегией России на период до 2030 года", утвержденной Правительством РФ от 13.11.2009 [1], обозначены следующие задачи, являющиеся приоритетными для отрасли:

- повышение эффективности использования ресурсов на протяжении всего топливного цикла (от добычи и переработки до регенерации и утилизации);
- масштабное техническое и технологическое обновление сектора;
- повышение эффективности энергетики, как экологическое (снижение вредных выбросов), так и экономическое (повышение эффективности преобразования энергии первичных источников - топлива - в электро- и тепловую энергию).

Сооружение установок поколения IV, к которым относятся водоохлаждаемые реакторы со сверхкритическими параметрами теплоносителя (ВВЭР-СКД), позволит приблизиться к решению этих задач.

Возрастающая неравномерность потребления электроэнергии (особенно в Европейской части России при расположении мощных ГЭС преимущественно на крупных реках за Уралом), значительный износ основных генерирующих мощностей тепловой энергетики на органическом топливе - по этим причинам все чаще поднимается вопрос об

участии АЭС в покрытии переменной части графика нагрузок (например, см. [2]). К моменту сооружения энергоблоков поколения IV эти требования станут, очевидно, более жесткими.

В связи с вышесказанным возникает задача обоснования возможности использования ВВЭР-СКД на переменных режимах мощности с обеспечением наибольшей надежности установки. Эта задача обширна, и в данном исследовании нами рассматривается ее часть, касающаяся работы реактора на переменных режимах мощности.

В качестве объекта исследования нами была выбрана установка со следующими параметрами (табл.1):

**Таблица 1. Основные параметры исследуемой установки**

| Характеристика  | Значение                   |
|---|----------------------------|
| Тип реактора  | Водо-водяной под давлением |
| Спектр  | Тепловой                   |
| Мощность (тепл./эл.), МВт                                     | 1280 / 525                 |
| Давление (рабочее), МПа                                       | 23.5                       |
| Температура на входе в реактор (начало/конец кампании), °С    | 365 / 345                  |
| Температура на выходе из реактора (начало/конец кампании), °С | 381 / 379                  |
| Тип установки   | Двухконтурная              |
| Тип ПП  | 4 шт., прямоточные         |
| Параметры "свежего" пара 2 контура                            | 15 МПа, 360 °С             |

Причины выбора установки с параметрами, приведенными в табл.1, следующие:

- тепловой спектр не предусматривает использование реактора в качестве бридера (наработчика вторичного ядерного горючего), для которого наиболее эффективна работа на постоянной (максимальной) мощности;

- средняя мощность выбрана исходя из обеспечения технологичности основного оборудования реакторной установки (т.е. возможности изготовления на современной российской промышленной базе) [3];

- турбоустановка на докритических параметрах пара (с небольшим перегревом относительно температуры насыщения) является более пригодной для использования в переменных режимах, чем установка на сверхкритических параметрах либо на влажном паре.

Активная зона объемом 12,8 м<sup>3</sup> набрана из 85 ТВС (топливо - UO<sub>2</sub>) с различным по радиусу обогащением: 30 ТВС на периферийной зоне – 4,4%, средняя зона (38 ТВС) – 3,0%, центральная зона (17 ТВС) – 2,0%. Каждая ТВС содержит 234 твэла.

Для обеспечения эффективного замедления по всей высоте активной зоны в конструкцию ТВС включены т.н. "водяные элементы" - полые трубки шестигранного и круглого сечения, заполненные теплоносителем. На их долю приходится до 80% замедления.

В ходе предварительного этапа исследования были проведены физические расчеты реактора, выбрана программа регулирования. Нейтронно-физический расчет проводился в 26-групповой приближении диффузионно-возрастной теории с учетом результатов теплогидравлического расчета (изменения плотности теплоносителя по высоте активной зоны). Методика была предварительно проверена расчетом реактора ВВЭР-1000 по известным данным. Основные результаты физического расчета:

- запас реактивности 0,195; температурный коэффициент реактивности  $7,73 \cdot 10^{-3}$  1/К;

- максимальная температура оболочки твэла для максимально нагруженного канала составляет 454 °С. Максимальная температура топливного сердечника - 1150 °С. Коэффициент теплоотдачи в активной зоне, рассчитанный согласно рекомендациям [4], достигает 53 кВт/(м<sup>2</sup>К), в среднем составляет 30÷33 кВт/(м<sup>2</sup>К).

Для регулирования реактора предлагается программа с переменным расходом теплоносителя и постоянной средней температурой. Очевидными преимуществами такой программы являются:

- стабильный температурный режим в активной зоне, что позволяет избежать появления дополнительных термических напряжений при изменении мощности;

- относительно невысокий рост давления "свежего" пара второго контура при снижении мощности.

Основным недостатком программы является необходимость включения в цепь АСР дополнительных элементов, отвечающих за регулирование частоты вращения ГЦН.

Второй этап исследования - составление математической модели реакторной установки для получения графиков зависимостей основных параметров при изменении мощности. При составлении математической модели были приняты следующие допущения:

- нейтронная кинетика реактора описана в точечном приближении с учетом одной группы запаздывающих нейтронов;

- из эффектов реактивности учитывается только температурный эффект по теплоносителю как превалирующий;

- отравление - только Хе;

- пренебрегаем инерционностью элементов АСР, запаздыванием сигналов;

- для регуляторов выбран ПИ-закон регулирования.

Математическая модель была реализована в ПК Mathcad 15.

Были исследованы два режима работы:

1) снижение мощности на 10% (ступенчато);

2) снижение мощности на 25% (ступенчато).

Основные результаты:

- отклонение средней температуры теплоносителя при изменении мощности на 10% составляет около 1 °С, на 25% - около 5 °С;

- отклонение давления "свежего" пара второго контура при изменении мощности может достигать 10% от номинального значения, что требует дополнительной проверки циклической прочности парогенераторов и может стать ограничивающим маневренность установки фактором;

- пик отравления реактора при ступенчатом снижении мощности на 10% достигает 0,041 приблизительно через 5 часов, на 25% - 0,043.

Оценка циклической прочности основных элементов показала, что предложенный вариант регулирования позволяет работать по режимам (1) и (2) при сохранении достаточной надежности. Дальнейшие направления исследования включают:

- уточнение математической модели, включая подходы к описанию нейтронной кинетики и теплогидравлики установки;

- оценка возможности использования данной программы для различных проектов ВВЭР-СКД.

#### Библиографический список

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года – URL: <http://www.minprom.gov.ru/docs/strateg/1>

2. Семченков Ю.М. и др. Развитие способов управления ВВЭР-1200/1300 в суточном графике нагрузки / Атомная энергия, 2013. Т. 114 (5). - с. 249-254.

3. Сироткина А.Л., Лощаков И.И. Исследование технологичности основного оборудования реакторной установки со сверхкритическими параметрами теплоносителя // ХLI Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч.III. - СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - с. 112-113.

4. Справочник по теплогидравлическим расчетам. Том 1. Теплогидравлические процессы в ЯЭУ / П.Л. Кириллов, В.П. Бобков, А.В. Жуков, Ю.С. Юрьев– М.: ИздАт, 2010. – 776 с.

*Д.О. Башлыков, асп.; рук. В.А. Хрусталева, д.т.н., проф.  
(Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратовский научный центр РАН, г. Саратов.)*

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУСКОРЕЗЕРВНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НА АЭС\*

Пускорезервная котельная (ПРК) - котельная, обеспечивающая паром низких параметров атомную станцию в период ее строительства и пуска («горячая обкатка» и др.), а также являющаяся источником тепла на случай аварийного отключения атомной станции.

ПРК необходимы как правило в период строительства и пуска АЭС, а при эксплуатации станции фактически не используются. ПРК выдают пар с параметрами и расходом, достаточными для подключения турбоустановок небольшой мощности, что позволяет дополнительно зарезервировать наиболее ответственных потребителей собственных нужд (переменного тока) в случае аварии с полным обесточиванием АЭС (табл.1).

**Таблица 1. Характеристики ПРК некоторых российских станций.**

| Наименование характеристики             | Ленинградская АЭС | Балтийская АЭС    | Балаковская АЭС  |
|---|-------------------|-------------------|------------------|
| Паропроизводительность котельной, т/ч   | 80                | 160               | 50               |
| Тип котла                               | КЭП 16000         | ZFR - IE<br>40000 | ГМ-50-<br>14/250 |
| Максимальное рабочее давление пара, МПа | 1,0               | 1,3               | 1,4              |
| Температура пара, °С                    | 183               | 195               | 250              |

Параметры пара, выдаваемого такими котельными, видны из таблицы 1. Например, на Балаковской АЭС предусмотрена пускорезервная котельная, в состав которой входят четыре котла ГМ-50-14/250. Суммарный расход пара, выдаваемый ПРК, составляет 200 т/ч, начальные параметры  $p_0=1,4$  МПа,  $t_0=250$  °С. В связи с тем, что ПРК обычно территориально отдалена от пруда охладителя (либо градирни), целесообразно для предлагаемой блочной с ПРК сателлитной турбины применить воздушный конденсатор (ВК), наиболее эффективно, двухступенчатого типа (рис. 1). В энергетике ВК в течение продолжительного времени использовались только для паровых турбин малой мощности — от 1 до 15 МВт. Впервые для более мощной турбины (160 МВт) ВК был применен на ТЭС Утриллас, сооруженной в 1970 г. в маловодном районе Испании. Конденсатор был изготовлен

\* Статья поддержана грантом РФФИ №14-08-00815а



фирмой GEA (Германия). В процессе его проектирования, сооружения и эксплуатации были разработаны и апробированы технические решения, позволившие в дальнейшем применять ВК для турбин еще большей мощности и при более суровых климатических условиях. Это подтверждено длительным опытом эксплуатации таких конденсаторов с 1978 г. [1].

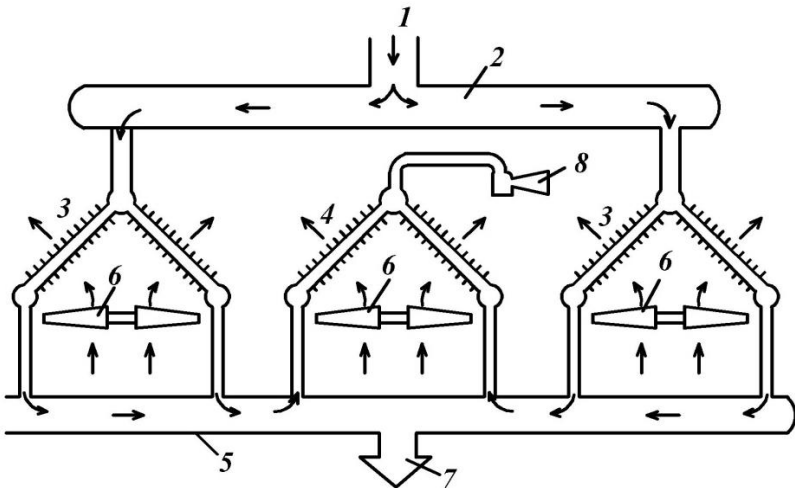


Рис. 1. Конструкция двухступенчатого воздушного конденсатора GEA:

1 — отработавший пар; 2 — парораспределительный коллектор; 3 — модули первой ступени конденсации; 4 — модуль второй ступени конденсации; 5 — коллектор перепуска пара и отвода конденсата; 6 — нагнетательный вентилятор; 7 — отвод в конденсатосборник; 8 — эжектор.

Расчет схемы сателлитного контура (рис. 2) показал, что турбоустановка, потребляющая пар общего коллектора четырех котлов ПРК, способна выработать мощность  $N = 32,8$  МВт.

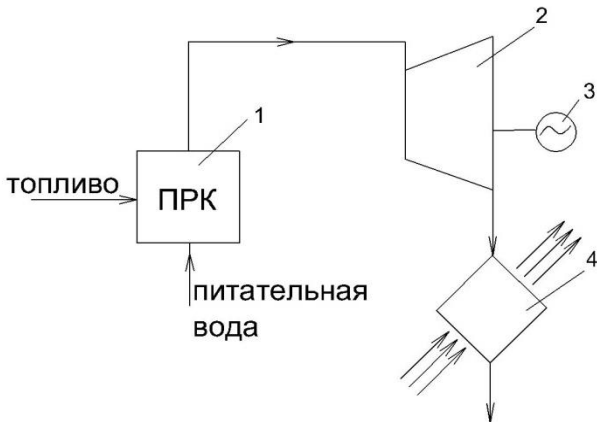


Рис.2. Схема использования ПРК. 1 – пускорезервная котельная; 2 – сателлитная турбина; 3 – электрический генератор; 4 – воздушный конденсатор.

Проанализировав работы ЦКТИ [2], сегодняшнюю стоимость таких турбин можно оценить с учетом среднего уровня инфляции за прошедший период по данным ретроспективного анализа (рис.3).

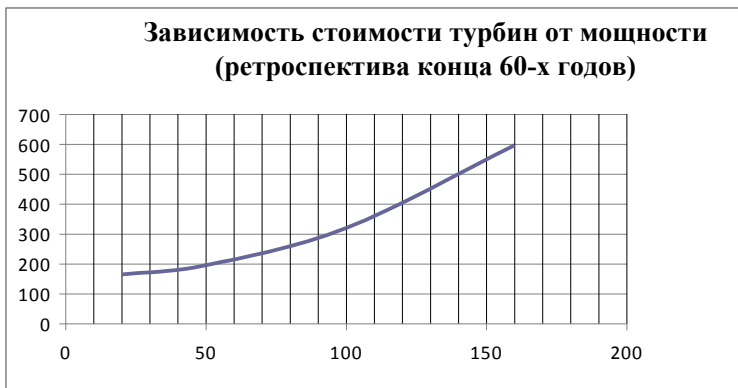


Рис 3. Зависимость стоимости турбоустановок диапазона 25-150 МВт по данным ЦКТИ (ретроспективная статистика) [2].

Так как уровни инфляции времен СССР и современной России существенно разнятся, то приведение стоимости турбоустановки к 2014 году осуществим в 2 последовательных этапа: 1968-1990 и 1990-2014 с индексами инфляции 0,6 и 0,2 соответственно.

$$C_T^{1990} = C_T^{1968} \cdot (1 + E)^n = 170 \cdot (1 + 0,06)^{22} = 613 \text{ тыс. руб}$$

$$C_T^{2014} = C_T^{1990} \cdot (1 + E)^n = 613 \cdot (1 + 0,2)^{24} = 487316 \text{ тыс. руб}$$

Удельная стоимость 1кВт составит при этом  $k_{\text{вд}}=1485,7$  руб/кВт, что не учитывает затраты во вспомогательные элементы и монтаж.

Таким образом, в связи с наличием на атомных электростанциях ПРК, которые по прямому назначению используются только в период пуска энергоблока, применение данной схемы позволяет вырабатывать в последующем избыточную мощность при относительно невысоких затратах на реконструкцию ПРК и дооснащение сателлитного блока. При непрерывной работе сателлитной турбоустановки возможно применить дополнительное электрическое резервирование питания потребителей собственных нужд ответственных за безопасность АЭС через ОРУ и (или) минуя его – напрямую.

#### Библиографический список

1. **Клевцов А.В.**, Пронин В.А., Анализ применения воздушных конденсаторов в энергетике // Современные природоохранные технологии в электроэнергетике. Разд.6.4.1. М: Издательский дом МЭИ, 2007.- С. 1-8.
2. **Шифрин И.Б.** Определение себестоимости паровых турбин на стадии проектирования на основе их технических параметров//Труды ЦКТИ, вып.83. Ленинград 1968.-С. 15-22.

*М.Р. Лапшин, асп.; рук. С.Т. Лескин, д.т.н, проф.,  
рук. А.О. Скоморохов д.т.н, проф.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

### ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГЦН 3-ГО БЛОКА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

ГЦН - это сложный насосный агрегат, который состоит из рабочего колеса, вала, корпуса, подшипников, уплотнений, электродвигателя, теплообменника и т.д. За состоянием всех составляющих насоса необходимо вести постоянный контроль, так как останов ГЦН вследствие выхода из строя приведет к большим экономическим потерям. На каждый ГЦН устанавливается свыше 50 датчиков контроля с различных систем. Данные накапливаются, но не анализируются на предмет выявления совокупных зависимостей элементов оборудования друг от

друга, выявления неочевидных и скрытых тенденций развития аномалий.

В докладе представлены результаты обработки эксплуатационных данных полученных на ГЦН 3-го блока КАЭС с использованием программ с открытым исходным кодом и утилит системы *LINUX*. Рассматривается первый этап анализа данных - подготовка и приведение снятых с приборов показаний в удобный для последующего детального анализа вид. Около 70% от времени интеллектуального анализа данных тратится на подготовку данных[2].

На каждом ГЦН установлено свыше 50 датчиков контроля.

Исходные данные представлены в текстовом файле, структура которого иллюстрируется приведенной ниже таблицей.

**Таблица 1. Содержание файла**

| Название      | дата-время          | значение | служеб.параметры |
|---------------|---------------------|----------|------------------|
| гцн1_датчик1  | 2011-01-01 00:00:00 | 285,023  | ...              |
| гцн1_датчик2  | 2011-01-01 00:00:01 | 34,8562  | ...              |
| гцн3_датчик3  | 2011-01-01 00:01:01 | NULL     | ...              |
| общ_параметр1 | 2011-01-01 00:01:01 | 2998,84  | ...              |
| гцн2_датчик2  | 2011-01-01 00:01:02 | 34,4822  | ...              |
| ...           | ...                 | ...      | ...              |

Всего таблица содержит 13 столбцов, включая служебные параметры (например, характеристики качества сигнала). Всего в файле представлено 38.5 млн. строк, что соответствует периоду работы энергоблока с 5 марта 2011 по 19 ноября 2013 (три кампании реактора). Общий объем файла составляет 6.2 Гб. Структура датчиков представлена на рис. 1.

Сложность подготовки данных для анализа заключается в следующем:

- извлечение относящихся к одному датчику данных, которые находятся в разных местах таблицы;
- различие в частоте опроса разнообразных датчиков, что приводит к отличному по количеству измерений временным сечениям;
- использование алгоритмов сжатия данных, что приводит к рассинхронизации сигналов однотипных датчиков с разных ГЦН;
- отсутствие в файле сортировки сигналов по времени;
- необходимость преобразования формата времени в непрерывную числовую шкалу (например, в секундную) для упрощения вычислительных операций;

- необходимость устранения из таблицы лишних столбцов (например, служебных параметров);
- использование запятой в качестве десятичного разделителя в виде запятой;
- наличие в таблице пропущенных значений (обозначенных как неопределенные значения *NULL*);
- большое количество потенциально ошибочных значений и выбросов.

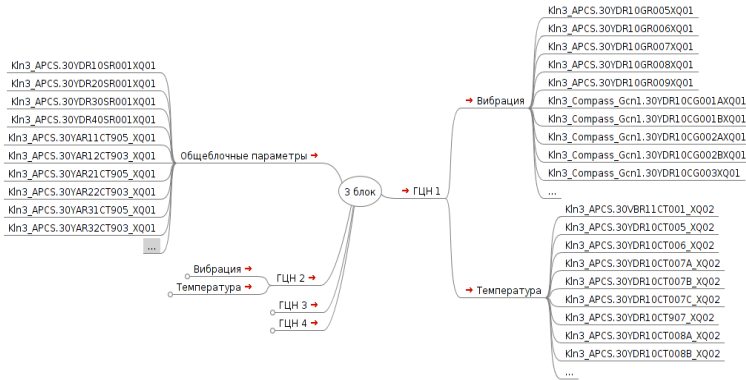


Рис. 1. Структура датчиков

Далее приводится набор инструментов *LINUX*, которые использовались для подготовки данных.

Выполнение утилит *cat*, *head*, *tail* и программы просмотра текстовых файлов *less* в терминале (командной строке) над исходным файлом дает первичное представление о структуре исходного файла.

С помощью потокового текстового редактора *sed*, который позволяет изменять каждую строку файла по определенному правилу, меняется десятичный разделитель с запятой на точку без перенаправления в другой файл, как показано ниже.

***sed -i 's/,./g' исходный файл.txt***

Утилита выбора столбца *cut*, в случае файла исходного файла позволяет выбрать 1-3 столбца, необходимые для дальнейшего анализа.

***cut -f 1,2,3 исходный файл.txt > 1\_3.txt***

Утилита командной строки *grep* действует по принципу "искать и выводить строки, соответствующие регулярному выражению". В работе используется для вырезания сигналов *NULL*.

***grep -v 'NULL' 1\_3.txt > 1\_3\_nonull.txt***

Остались строки, которые не содержат значения *NULL*. Полученный файл *I\_3\_nonull.txt* представляет собой таблицу с тремя столбцами (название датчика, дата-время, значение).

С помощью скрипта (*wcount*), написанного на языке *awk*, определяется количество измерений для каждого датчика. Для чего достаточно использовать первый столбец с именами датчика (*names.txt*). На рис. 2 показано количество измерений для всех датчиков в полулогарифмической шкале. Что подчеркивает проблематику анализа данных, описанную выше.

***awk -f wcount names.txt | cut -f 2 > n-измерений.txt***

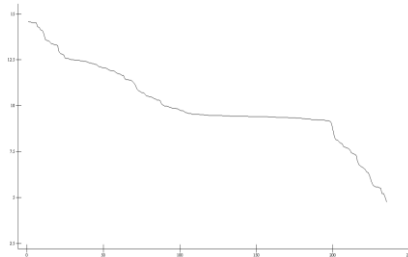


Рис. 2. Количество измерений с каждого датчика

Для дальнейшего разбиения файла на отдельные части, в которых будут содержаться сигналы с определенного датчика, используется скрипт, написанный на языке *bash*.

```
mkdir -p $3
for name in $(cat $1); do
  var1=$(echo $name | cut -d';' -f 1)
  var2=$(echo $name | cut -d';' -f 3)
  grep -w $var1 $2 > $3/${var2}.txt
done
```

Пример использования:

***. grep.sh list.txt 1\_3\_nonull.txt gcn/g1/temp/1\_3***

Теперь в каталоге *gcn/g1/temp/1\_3* лежат все датчики температур по 1 - ГЦН отдельно по файлам. Каждый файл имеет удобное название и представляет собой таблицу из трех столбцов: аббревиатура датчика (одинаковая во всех строках), дата-время, значение.

Для дальнейшего вырезания столбцов из каждого файла, перевода времени из формата "datetime" в формат "секунды", объединения файлов в единую таблицу и построения графиков в работе используются скрипты *cut.sh*, *date.sh*, *paste.sh* и *gnuplot*.

Как было показано выше, сложные операции с файлами совершаются с помощью определенных команд, утилит и небольших скриптов.

Это облегчает процесс подготовки данных и позволяет подвести их к следующему этапу анализа в нужном виде. Дальнейшие действия, такие как синхронизация, устранение выбросов и проведение анализа были реализованы на примере языка программирования APL.

#### **Библиографический список**

1. **Лескин С.Т.**, Зарюгин Д.Г. Комплекс программ DINA I для диагностирования главных циркуляционных насосов ВВЭР по данным оперативного технологического контроля. Известия вузов. Ядерная энергетика, 2001
2. **Fernandez, George.** Statistical data mining using SAS applications. CRC Press, Inc., 2010.
3. **Граннеман С.** Linux. Необходимый код и команды. Москва. 2010
4. **Philipp K.** Janert. Gnuplot in action. 2010.

*М.Р. Лапшин, асп.; рук. С.Т. Лескин, д.т.н, проф.,  
рук. А.О. Скоморохов д.т.н, проф.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

## **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ГЦК КАЛИНИНСКОЙ АЭС ПО ДАННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Главный циркуляционный насос (ГЦН) является важной и дорогостоящей составляющей атомной электростанции. Внезапный отказ ГЦН приводит к большим материальным затратам и длительному простою энергоблока, что в свою очередь ухудшает коэффициент использования мощности. В ситуации, когда удельные капиталовложения в строительство АЭС возрастают, из-за повышения требований к безопасности, ухудшение экономических показателей АЭС может оказаться критическим в отношении конкурентоспособности на энергетическом рынке. Как показывается в работах [1,2], своевременное обнаружение аномалии в работе ГЦН и корректировка планового ремонта могла бы предотвратить внезапный отказ ГЦН. Аномалия начинает развиваться задолго до выхода технологических параметров за уставки.

На блоках с реактором ВВЭР-1000 в первом контуре установлено 4 ГЦН, которые представляют собой сложные насосные агрегаты. Каждый ГЦН состоит из рабочего колеса, вала, корпуса, подшипников, уплотнений, электродвигателя, теплообменника и т.д. Все составляющие подвержены большим нагрузкам. Помимо этого,

имеются вспомогательные системы, которые в свою очередь оказывают воздействие на работу насосов.

В настоящей работе рассматривается этап первичного анализа данных (параметров технологического контроля, которые фиксируются измерительными системами), делается попытка выявления совокупных зависимостей элементов оборудования друг от друга, выявления неочевидных и скрытых тенденций развития аномалий.

Учитываются следующие особенности эксплуатации насосов [1]:

- четыре ГЦН работают параллельно и в идентичных условиях;
- изменение состояния каждого из них во времени определяется общей причиной-поведением реакторной установки в целом, а также индивидуальными для каждого ГЦН процессами;
- вероятность одновременного выхода из строя 2-х или более ГЦН значительно меньше вероятности появления одного аномального ГЦН.

Исходные данные подготовлены в виде матриц  $n \times m$  усредненных значений датчиков по дням для каждого ГЦН.  $n$  - число дней измерений,  $m$  - число признаков (температура, вибрация, давление). Матрицы объединены в одну матрицу, как показано на рис.1. К матрице прилагается вектор классификации  $C$ . Таким образом каждая строка в матрице - это состояние насоса представленное вектором  $X_n$  размерностью  $n$ . Вектор  $C$  классифицирует строки.

$$\begin{matrix} \text{ГЦН1} \\ \text{ГЦН2} \\ \text{ГЦН3} \\ \text{ГЦН4} \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} \left( \begin{array}{cccc} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{array} \right) & \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 4 \\ 4 \end{matrix} \\ \left( \begin{array}{cccc} x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{array} \right) & \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix} \right.$$

В работе рассматриваются методы визуализации данных и одним из них называется "параллельными координатами". Он представляет собой построение всех векторов  $X_n$  на одной плоскости как показано на рис.2. По оси абсцисс отложены признаки, по оси ординат - нормированные значения признаков. Используя параллельные координаты, можно увидеть по каким параметрам и в какой степени отличаются насосы друг от друга.



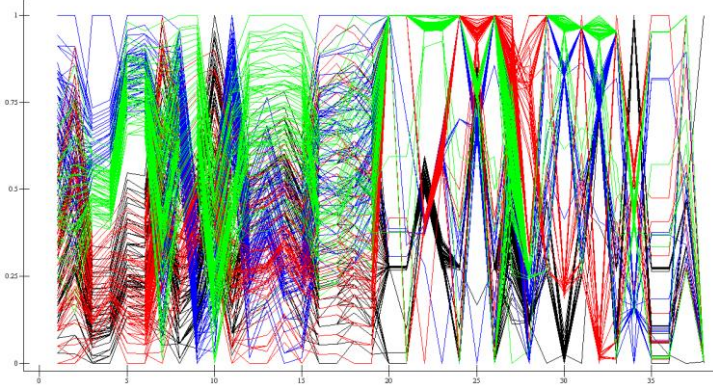


Рис.2. Параллельные координаты

N-мерное пространство невозможно представить и визуализировать без каких-либо дополнительных действий. В работе к данным применены два метода линейного преобразования n-мерного пространства в двумерное: метод линейного шкалирования Орлочи и метод главных компонент. Оба метода дают практически одинаковые результаты и представлены на рис.3.

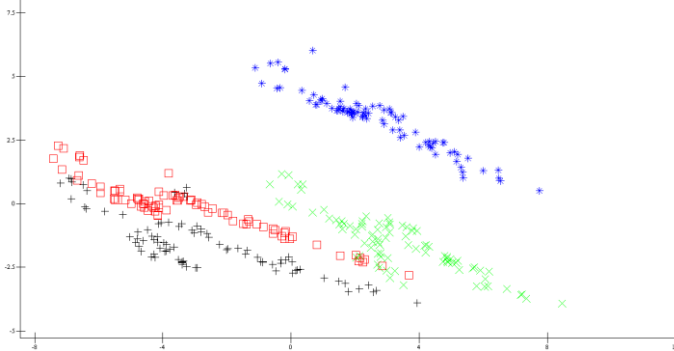


Рис.3. Метод главных компонент

Как видно, состояние 3-го ГЦН значительно отличается от трех других. Интерпретация такого поведения - это дальнейшая задача проводимой диагностики, которая может потребовать предыстории работы насоса.

Так же в работе представлен метод деревьев классификации, которые позволяют получить набор правил, по которым можно разделить насосы на классы.

Настоящая работа показывает как методы "тонкой" диагностики могут помочь разглядеть за выбросами, шумами и большой размерностью пространства тенденции развития аномалий на ранней стадии, без априорной информации об аномальных состояниях работы ГЦН.

#### Библиографический список

1. Лескин С.Т., Зарюгин Д.Г. Комплекс программ DINA I для диагностирования главных циркуляционных насосов ВВЭР по данным оперативного технологического контроля. Известия вузов. Ядерная энергетика, 2001
2. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). Издательство "Наука". М., 1974.

*А.В. Варенцов, В.Д. Сорокин, аспиранты; М.К. Рослая, студ.;  
Научный руководитель – А.Е. Хробостов, к.т.н., доц.  
(НГТУ им. Р. Е. Алексева, г. Нижний Новгород)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОГО МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЗА ПОЯСОМ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ РЕШЕТКИ ТВС-КВАДРАТ РЕАКТОРА PWR С ДЕФЛЕКТОРОМ «КОСОГО ГИБА»

В ОАО «ОКБМ Африкантов» разработана конструкция ТВС-КВАДРАТ для активной зоны реакторов типа PWR, конкурентоспособная с зарубежными аналогами по надежности, безопасности, экономичности и технологичности. Конструкция ТВС-КВАДРАТ имеет перемешивающие решетки, которые играют роль турбулизаторов потока теплоносителя и интенсификаторов теплообмена. Внедрение решеток-интенсификаторов в конструкцию ТВС было predetermined тем, что квадратная упаковка твэлов, используемая в реакторах PWR, изначально проигрывает треугольной упаковке, выбранной для реакторов ВВЭР, из-за большей неравномерности расхода теплоносителя по периметру твэла и, соответственно, большей неравномерностью подогревов теплоносителя в пределах ячейки пучка. Поэтому целесообразно было предусмотреть формирование эффективного перемешивания

вания теплоносителя, как в пределах ячеек, так и одновременно в поперечном сечении ТВС.

Применение отечественной конструкции ТВС–КВАДРАТ с перемешивающей дистанционирующей решеткой (ПДР) в реакторе PWR требует обоснования теплотехнической надежности активных зон и определения влияния конструкций решеток на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя.

Оценка влияния перемешивающих устройств на критические потоки тепла возможна только на теплофизических стендах при натуральных условиях течения теплоносителя, а изучение гидродинамики сборок твэлов и активных зон реакторов, в целом, целесообразно проводить на масштабных и полноразмерных моделях кассет и активных зон на аэро- и гидродинамических стендах [1].

Экспериментальная модель (ЭМ) выполнена в полном геометрическом подобии натурной ТВС, состоит из цилиндрических твэлов-имитаторов, поясов дистанционирующих и перемешивающих решеток (ПР) (рис. 1).

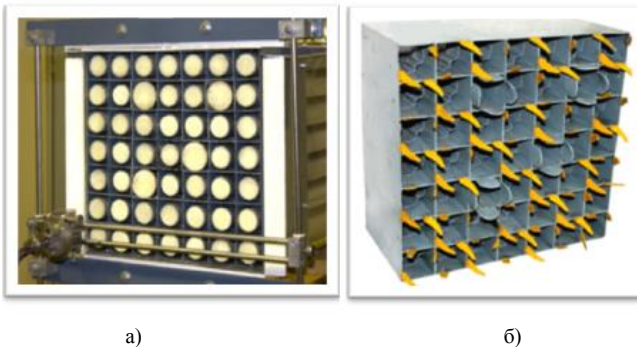


Рис. 1. Экспериментальная модель и пояса решеток с дефлекторами «косогогиба»: а) – выходная часть экспериментальной модели; б) – перемешивающая дистанционирующая решетка

Для исследований локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя в модели фрагмента ТВС-КВАДРАТ применялся метод диффузии примесей [2]. В ЭМ измерялась концентрация пропанового трассера в характерных зонах по сечению модели. В каждой из зон производился замер концентрации в 18-ти сечениях по длине экспериментальной модели за ПР.

Важным этапом является подтверждение представительности проведенных экспериментальных исследований. В активной зоне реактора PWR числа Рейнольдса достигают нескольких сотен тысяч, что труднодостижимо в лабораторных условиях. Но поскольку течение воды

высокого давления в активных зонах реактора PWR моделируется воз-  
духом на основе теории гидродинамического подобия, то в области  
автомодельности профиль относительной скорости ( $W_{лок}/W_{ср.расх}$ )  
остается неизменным [3]. Следовательно, исследования в зоне автомо-  
дельности позволят перенести результаты эксперимента на натурные  
условия течения теплоносителя в штатных ТВС. Экспериментальные  
исследования распределения концентрации трассера в характерных  
зонах ТВС-КВАДРАТ с направляющими каналами при постановке  
поясов ПДР и ПР проводились при числе  $Re=93840$ .

На основе изменения концентрации трассера за перемешивающей  
решеткой ЭМ фрагмента ТВС-КВАДРАТ для характерных зон были  
сделаны следующие выводы:

1. Сразу за ПР трассер распределен по восьми ячейкам ЭМ. Это  
объясняется тем, что ПДР, установленная перед ПР приводит к кон-  
вективному переносу трассера из зоны подачи в указанную область.  
Наибольшее значение концентрации трассера в данном сечении за пе-  
ремешивающей решеткой наблюдается в ячейке №43 (рис. 2). Далее  
трассер из ячейки №43 движется согласно ориентации дефлекторов в  
ячейки №№42, 44. Максимум значений концентрации в ячейках  
№№42,44 зарегистрированы на расстоянии  $\Delta l/d \approx 4-7$  от решетки, соот-  
ветственно. К выходному сечению модели в данных ячейках концен-  
трация трассера снижается и это свидетельствует о направленном  
движении потока теплоносителя согласно ориентации турбулизирую-  
щих дефлекторов.

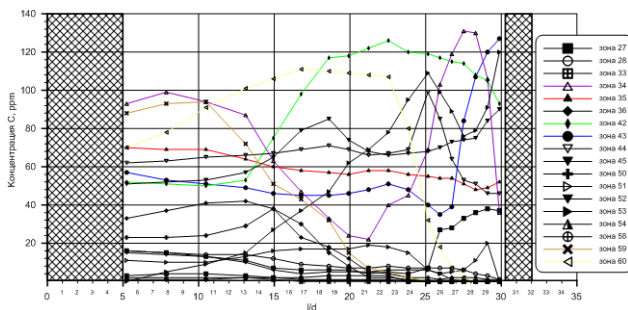


Рис. 2. Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели при постановке поясов ПДР и ПР с дефлектором «косого гйба»

2. Из графика, представленного на рисунке 3 можно отметить, что  
не весь поток теплоносителя движется по направлению дефлекторов,  
т.к. часть трассера перераспределяется в соседние ячейки вследствие  
дополнительной турбулизации потока.

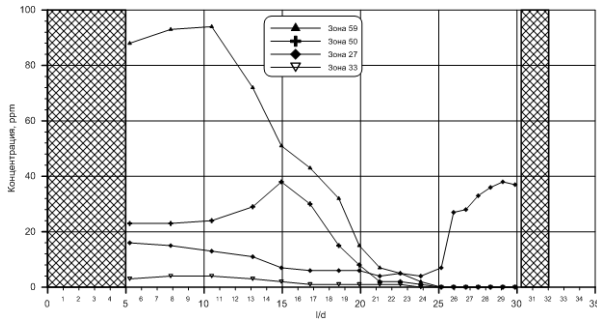


Рис. 3. Распределение концентрации трассера по длине ЭМ при постановке поясов ПДР и ПР с дефлектором «косого гйба»

3. Ввиду направленного движения потока теплоносителя за ПР трассер перераспределился в периферийные ячейки (рисунок 4), и максимальные значения концентрации в выходном сечении ЭМ наблюдались в ячейках №№59, 60. Дальнейшее движение трассера в ЭМ не наблюдается из-за ограничения размеров ЭМ. Это связано с тем, что перед ПР стоит ПДР, которая тоже вносит возмущения в поток теплоносителя.

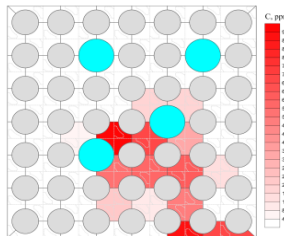


Рис. 4. Распространение концентрации трассера в выходном сечении экспериментальной модели

Экспериментальные исследования распределения осевой скорости в шестнадцати ячейках, прилежащих к направляющим каналам (НК), и в десяти стандартных ячейках позволили определить соотношение расхода теплоносителя между данными областями. Оно обусловлено значениями осевых скоростей и различием в площадях проходного сечения ячеек, прилежащих к НК, по сравнению с площадью проходного сечения стандартной ячейки ЭМ.

По соотношению значений расходов теплоносителя через ячейки в области НК, к расходам в стандартных ячейках на различных длинах экспериментальной модели за поясом ПР была получена зависимость, представленная на рисунке 5.

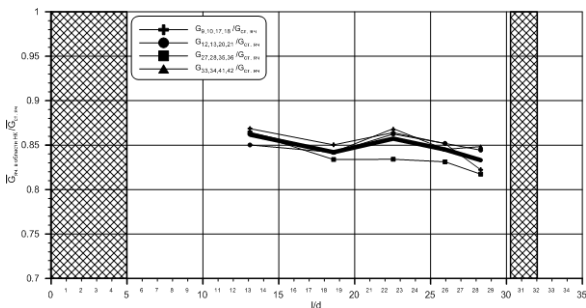


Рис. 5. Отношение распределения расхода теплоносителя через ячейки в области НК к стандартным ячейкам

По результатам экспериментальных исследований гидродинамики и массообмена в ЭМ были выявлены основные общие закономерности движения потока теплоносителя за ПДР:

1. За перемешивающей решеткой с дефлекторами «косого гiba» происходит направленное постепенно затухающее движение трассера, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов. Это объясняется тем, что отклоненный дефлектором поток приобретает поперечные составляющие скорости на выходе из перемешивающей решетки и далее посредством механизма конвективного переноса часть поперечного потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки, смешиваясь при этом с основным осевым потоком.

2. Экспериментально определено, что не весь трассер движется в направлении, определенном дефлектором. Часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за перемешивающей решеткой вследствие дополнительной турбулизации потока.

3. Различия в проходных сечениях ячеек, прилежащих к направляющему каналу и стандартных ячеек ТВС-КВАДРАТ, приводит к вытеснению части расхода в соседние ячейки на 15%.

Обобщена экспериментальная информация и создан банк данных для верификации CFD-кодов и программ детального поячеечного расчета активных зон с ТВС-КВАДРАТ для реактора PWR с целью уменьшения консерватизма в расчетах теплотехнической надежности активных зон.

#### Библиографический список

1. **Дмитриев С.М.**, Легчанов М.А., Хробостов А.Е., Варенцов А.В., Доронков Д.В., Добров А.А. Исследования локальной гидродинамики и межъячеечного массообмена потока теплоносителя в районе направляющих каналов тепловыделяющих сборок реакторов PWR // Промышленная энергетика №12, 2013 г., С. 45-50.

2. **Бородин С.С.**, Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Новикова О.Ю., Солнцев Д.Н., Хробостов А.Е. Исследования массообменных характеристик и эффективности перемещающих решеток ТВСА АЛЬФА реакторов ВВЭР // Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену в восьми томах, г. Москва, 2010г., Т. 1. С. 177-180.

3. **Дмитриев С.М.**, Бородин С.С., Легчанов М.А., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР // Атомная энергия – 2012, т. 113, №5, с. 252-257.

***В.Е. Бородина, студ.; Д.В. Доронков, А.А. Нефедов, магистранты; рук. А.Е. Хробостов, к.т.н., доц. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)***

## **АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «КАНАЛ»**

Одним из перспективных направлений развития атомного машиностроения являются атомные станции малой мощности, в частности плавучие атомные теплоэлектростанции (ПАТЭС). Энергоисточником такого плавучего энергоблока является реакторная установка КЛТ-40С. Генеральным конструктором реакторных установок данного типа является ОАО «ОКБМ Африкантов».

Обоснование теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора, во многом базируется на теплогидравлическом расчете, с использованием программ детального поячеечного расчета активных зон водо-водяных ядерных реакторов. Однако эти программы требуют дополнительной верификации.

Целью настоящей работы является проведение расчёта аксиальной составляющей вектора скорости в программе «КАНАЛ» [1] и сравнения с экспериментальными значениями, полученными в НГТУ им. Р.Е. Алексеева при моделировании течения потока теплоносителя на аэродинамическом стенде [2].

Программа КАНАЛ предназначена для проведения поячейкового теплогидравлического расчета ТВС с твэлами стержневого типа активных зон водо-водяных реакторов в стационарных и квазистационарных режимах работы.

Для проведения расчёта была построена нестандартная область ТВС реактора КЛТ-40С, содержащая 168 ячеек, 78 твэлов-имитаторов, 6 имитаторов стержней выгорающего поглотителя и центральный вытеснитель. Ячейки образованы поверхностями стержней, кожухом ТВС и условными граничными плоскостями, проходящими через оси соседних твэлов (рис. 1).

В продольном сечении ТВС реактора КЛТ-40С была разбита на 32 расчетных высотных участка. Размер каждого высотного участка равен 93 мм, что соответствует ширине ДР ЭМ.

Основные параметры на входе в расчетную модель:

- Давление воздуха на входе в модель  $P_{\text{воздуха}} = 1,0245$  бар;
- Расход воздуха через модель  $G_{\text{воздуха}} = 5,245$  кг/с;
- Температура воздуха на входе в модель  $26^{\circ}\text{C}$ .

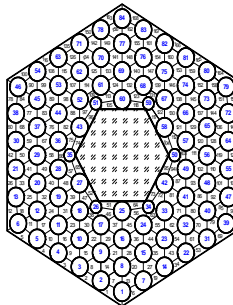


Рис 1. Схема расчетной области ТВС реактора КЛТ-40С

При выше обозначенных параметрах среднерасходная скорость в расчетной модели равна 34,6 м/с, что соответствует среднерасходной скорости в экспериментальной модели. Значение числа Рейнольдса в расчетной модели составило  $Re = 88525$ .

Ввиду того, что пластины ДР ТВС реактора КЛТ-40С по-разному затесняют проходное сечение ячеек ЭМ, все ячейки расчетной области были разбиты на 14 типов. Для каждого типа ячеек был проведен расчёт коэффициента местного сопротивления.

Для определения минимального отклонения расчетных и экспериментальных данных в модели ТВС реактора КЛТ-40С был введен критерий,  $S_{\Sigma}$  характеризующий среднеквадратичное отклонение между расчетными и экспериментальными значениями аксиальной составляющей вектора скорости [3]. Графическое распределение критерия  $S_{\Sigma}$  представлена на рисунке 2.



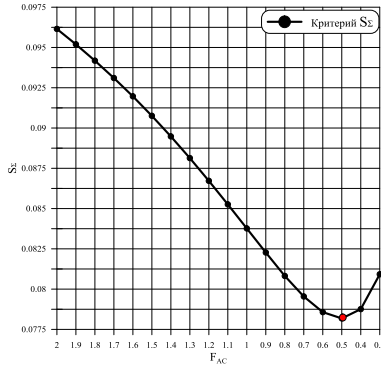


Рис 2. График распределения критерия  $S_{\Sigma}$

Анализ сходимости экспериментальных и расчетных значений аксиальной составляющей вектора скорости за ДР по длине модели ТВС реактора КЛТ-40С показал:

1. В ячейках с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «звезды» расчетное и экспериментальное распределение аксиальной составляющей вектора скорости по длине модели имеет различный характер (рис 3).

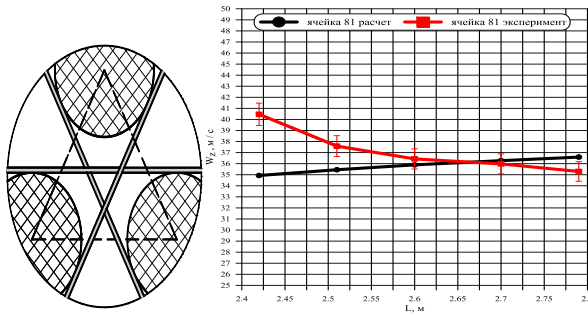


Рис 3 . Расчетное и экспериментальное распределение аксиальной составляющей вектора скорости для ячейки № 81 с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «звезды» ( $W_{ср} = 34,6$  м/с)

2. В ячейках с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «треугольника» наблюдается совпадение характера расчетного и экспериментального распределения аксиальной составляющей вектора скорости (рис 4).

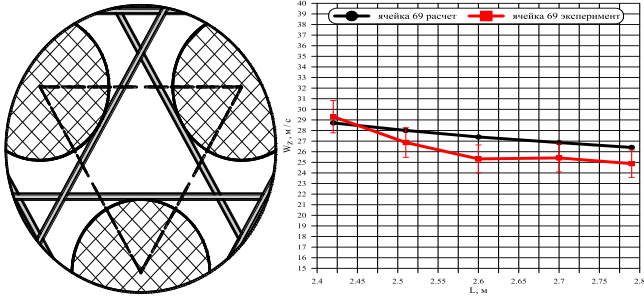


Рис. 4. Расчетное и экспериментальное распределение аксиальной составляющей вектора скорости для ячейки № 69 с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «треугольника» ( $V_{ср} = 34,6$  м/с)

3. В выходном сечении модели ТВС реактора КЛТ-40С наблюдается схожий характер распределения расчетных и экспериментальных значений аксиальной составляющей вектора скорости для всех исследованных ячеек (рис 5).

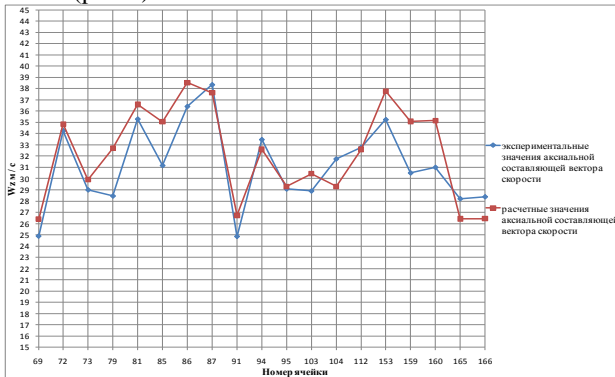


Рис 5. Расчетное и экспериментальное распределение аксиальной составляющей вектора скорости для всех исследованных ячеек в выходном сечении ЭМ ( $V_{ср} = 34,6$  м/с)

Анализ полученных данных показал, что предельное отклонение расчётных и экспериментальных значений аксиальной составляющей вектора скорости по длине экспериментальной модели составило не более 15%.

#### Библиографический список

1. Программа КАНАЛ. Теплогидравлический расчет тепловыделяющих сборок. Описание приме-

ния. ОАО «ОКБМ Африкантов», 2013г.

2. **Варенцов А.В.** Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С / Варенцов А.В. и др. // Научно-технический вестник Поволжья. №3.2013.

3. **Дмитриев С.М.** Анализ эффективности применения перемешивающих решеток-интенсификаторов теплообмена в тепловыделяющих сборках альтернативной конструкции реакторов ВВЭР-1000 / Дмитриев С.М. и др. // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева № 4(83), 2010г, с 120-131.

*А.А. Баринов, магистрант; А.А. Добров, асп.;  
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.*

*(НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

## **CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВО ФРАГМЕНТЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ РЕАКТОРА КЛТ-40С**

Современные компьютерные технологии позволяют интенсивно развиваться методам вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics). Одним из важных направлений применения CFD программ является моделирование пространственных теплогидравлических процессов в активных зонах (АЗ) ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Это связано с возможностью использования результатов CFD-моделирования при проведении детальных теплогидравлических расчетов АЗ и её элементов в ходе проектирования новых и модернизации существующих ЯЭУ.

В настоящее время прямой тепловой и гидравлический расчет АЗ с использованием CFD программ практически невозможен. Данная проблема связана с необходимостью построения в подобных областях расчетной сетки, состоящей из десятков, а иногда и сотен миллионов контрольных объемов, что сложно реализуемо даже на самых мощных суперкомпьютерах. В связи с этим инженерный уровень определения теплогидравлических характеристик АЗ основан на использовании поячейковых (поканальных) методик.

Поячейковый подход предполагает представление проточной части тепловыделяющей сборки (ТВС) в виде системы параллельных каналов (ячеек), разделенных по высоте на расчетные участки, для каждого из которых решается система уравнений сохранения массы, импульса и энергии теплоносителя в одномерном приближении. Поячейковые программы позволяют проводить расчеты теплогидравлики АЗ за приемлемое время на персональных компьютерах.

Поканальная методика во многом полагается на экспериментально полученные замыкающие соотношения (коэффициенты гидравлических потерь на трение и местные сопротивления, коэффициенты теплоотдачи, турбулентного обмена и т.д.). При разработке новых конструкций ТВС и ее элементов зачастую отсутствует информация, необходимая для определения замыкающих соотношений, и, как следствие, возникает необходимость в дополнительных исследованиях.

Альтернативой такому подходу может быть использование CFD-кодов для получения замыкающих соотношений, а также для доработки и расширения моделей, заложенных в поядейковые программы.

В данной работе приводятся результаты трехмерного CFD-моделирования течения теплоносителя за дистанционирующей решеткой (ДР) во фрагменте модели ТВС реактора КЛТ-40С.

Геометрия пучка твэлов (рис. 1,а) выдерживается за счет наличия в ТВС дистанционирующих решеток (ДР). Решетка (рис. 1,б) представляет собой конструкцию из двух шестигранных обечаек и набора параллельных пластин. Пластины расположены в три уровня, контакт с твэлом осуществляется по линии одной пластины.

В качестве верификационной базы проводимых расчетных исследований были использованы результаты эксперимента, полученные на аэродинамическом стенде в НГТУ им. Р.Е.Алексеева [1].

Расчетная область представляла собой сектор ТВС (фрагмент 1/6 части сечения) с установленной ДР, построенная в САD-программе.

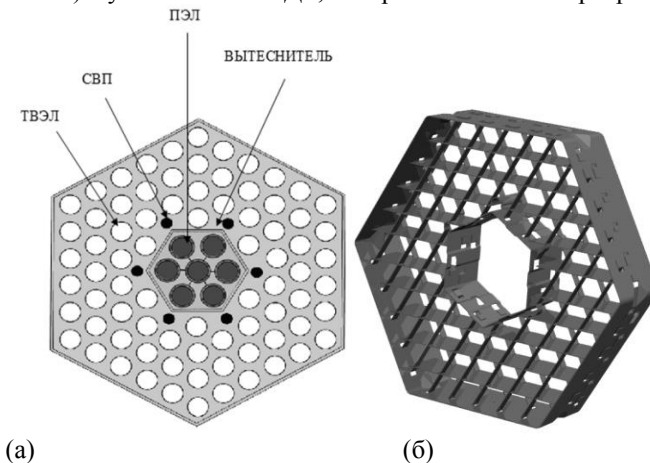


Рис. 1. Поперечное сечение ТВС реактора КЛТ-40С (а) и дистанционирующая решетка (б)

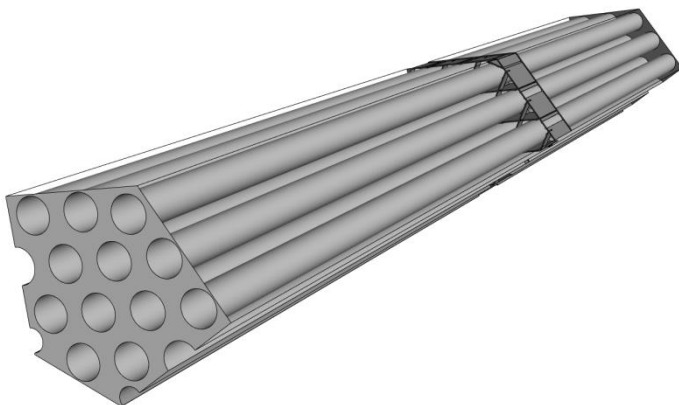


Рис. 2. Общий вид расчетной области

В сеточном генераторе ICEM CFD строилась расчетная сетка, соответствующая требованиям модели турбулентности SST. Параметры сетки сведены в таблицу 1. На боковых границах фрагмента задавались условия стенки и периодические граничные условия.

**Таблица 1. Параметры расчетной сетки**

| Максимальный поперечный размер элемента, мм | Размер элемента вдоль оси модели, мм | Минимальный размер элемента погранслоя, мм | Параметр $y^+$ | Общее число элементов |
|---|--------------------------------------|--|----------------|-----------------------|
| 2   | 2-10                                 | 0,05 (10 слоев)                            | 3-5            | 11,5 млн              |

При CFD-моделировании были воспроизведены условия физического эксперимента. Для решения задачи использовались зарубежные CFD-коды Ansys CFX 14.0, Ansys Fluent 14.0 и отечественный программный комплекс (ПК) ЛОГОС, разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Обоснование представительности проводимых расчетов проводилось на основе сравнения расчетных и экспериментальных данных по общему КГС ДР (таблица 2,  $\Delta\xi$  – отклонения от эксперимента, %) а также по распределению осевой скорости по ячейкам экспериментальной модели (рис. 3).

**Таблица 2. Значения КГС ДР и отклонения от экспериментального значения**

| Эксперимент   | CFX   |                 | Fluent |                 | ЛОГОС |                 |
|---------------|-------|-----------------|--------|-----------------|-------|-----------------|
| КГС ( $\xi$ ) | $\xi$ | $\Delta\xi, \%$ | $\xi$  | $\Delta\xi, \%$ | $\xi$ | $\Delta\xi, \%$ |
| 0,29±0,02     | 0,302 | 4,1             | 0,320  | 10,4            | 0,312 | 7,6             |

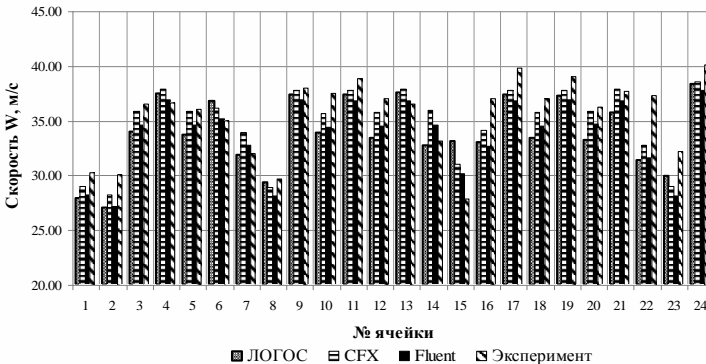


Рис. 3. Сравнение результатов CFD-расчетов и эксперимента

Результаты CFD расчетов показали высокую эффективность используемых программ. Среднеквадратичные отклонения значений скоростей по ячейкам от экспериментальных составили для CFX – 4,6%, для FLUENT – 6,0%, для ЛОГОС -5,6%.

Результаты CFD-моделирования позволили исследовать влияние дистанционирующей решетки на распределение гидродинамических характеристик теплоносителя и определить коэффициент гидравлического сопротивления ДР. Все три рассмотренные CFD-пакета показали высокую эффективность при решении задачи и удовлетворительную для инженерных расчетов точность как по коэффициенту гидравлического сопротивления ДР, так и по определению осевых скоростей в ячейках модели.

#### Библиографический список

1. Дмитриев С.М. и др. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С. Научно-технический вестник Поволжья. №3, 2013, с.114-119.

*М.Ш. Исаев, С.И. Галыня, студенты; рук. Н.Б. Карницкий,  
д.т.н., проф.  
(БНТУ, г. Минск)*

**БЕЗОПАСНОСТЬ БЕЛАЭС**

В 2016 году планируется ввод в эксплуатацию первой белорусской атомной электростанции. Проект станции несёт название АЭС – 2006, разработанный Санкт-Петербургским научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом «Атомэнергопроект». Рассмотрим основные особенности данного проекта.

АЭС 2006 – проект АЭС с реактором типа ВВЭР-1200. Он отличается большей мощностью, сроком службы и длительностью межперезагрузочного периода, улучшенными системами безопасности.

Ниже приведены основные характеристики АЭС:

- электрическая мощность 1150-1200 МВт;
- тепловая мощность 3200 МВт, с возможностью ее форсирования в дальнейшем до 3300 МВт;
- проектный срок службы основного оборудования РУ – 60 лет;
- коэффициент использования установленной мощности – 92%;
- длительность межперезагрузочного периода – до 24 месяцев;
- максимальное выгорание топлива по ТВС – до 70 МВт сут/кг U;
- допустимое время восстановления основных систем безопасности – не менее 72-х часов;

Отличительной особенностью проекта АЭС – 2006 является улучшенная САОР, а именно – использование дополнительных пассивных систем безопасности. Конструкция станции разработана с учётом экстремальных внешних нагрузок, например падения самолёта и прочих летящих предметов весом 5,7 тонн со скоростью 100 м/с[3].

В проекте АЭС-2006 применён принцип глубоко эшелонированной защиты. Она представляет собой серию барьеров:

- 1). Топливная матрица, назначение которой – предотвратить выход продуктов деления под оболочку ТВЭЛа.
- 2). Сама оболочка ТВЭЛа, которая предотвращает выход продуктов деления в теплоноситель главного циркуляционного контура.
- 3). Главный циркуляционный контур, который препятствует выходу продуктов деления под защитную герметичную оболочку.
- 4). Система защитных герметичных ограждений, не дающая выйти продуктам деления в окружающую среду.

Контейнмент энергоблока сделан из так называемого «предварительно напряжённого бетона» и способен выдержать внутреннее давление до 5 кгс/см<sup>2</sup>, чего достаточно, чтобы избежать фукусимского сценария даже если вся вода, поданная в реактор, превратится в пар. Внутри защитной оболочки находятся рекомбинаторы водорода, которые не дают скапливаться опасному газу, тем самым предотвращая взрыв, и спринклерная система, в случае аварии разбрызгивающая рас-

твор бора и других веществ предотвращая распространение радиоактивности[2].

Если рассматривать внешние факторы, в частности, природные катаклизмы, способные привести к аварии на БелАЭС, то особое внимание следует обратить на сейсмическую активность. Хотя Беларусь и располагается в западной части Восточноевропейской платформы, а платформа – это место достаточно спокойное и неподвижное, всё же характеризуется неглубокими землетрясениями с малой магнитудой. В частности следует упомянуть землетрясение произошедшее 28 декабря 1908 года в посёлке Гудогай, Островецкого района, силой 6-7 баллов по шкале MSK-64 [1]. Но бояться пока нечего, так как защита на строящейся АЭС предусмотрена выше этих значений.

Подводя итог, хочется ещё раз отметить высокий уровень безопасности проекта АЭС-2006 в сочетании с достаточно спокойным географическим положением Беларуси, что делает БелАЭС одной из, а возможно, и самой безопасной АЭС в мире.



---

**Библиографический список**

1. **Аронов А.Г.**, Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И. Сейсмологические исследования в Беларуси. Центр геофизического мониторинга НАН РБ
2. **Отчёт** об ОВОС, часть 8.1. Описание АЭС. Белнипиэнергопром. 2010.
3. **Электронный ресурс** [www.spbaer.ru](http://www.spbaer.ru).

*А.Л. Гришин, Н.А. Лоншаков, А.В. Хлестаков, студенты;  
рук. В.Г. Шошин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСЧЕТА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

В современном мире в процессе самообразования все большую значимость приобретают компьютерные обучающие системы (КОС). Внедрение подобных программ позволяет сделать сам процесс обучения наиболее удобным для студента, оптимизировать его затраты времени, что способствует улучшению качества получаемых знаний. Так же некоторые программы обладают объемной справкой, этим предполагается отсутствие наставника-преподавателя.

Была разработана программа ориентировочного расчета паровой турбины. Данная программа включает в себя интерактивное учебное пособие, реализованное в системной программе «Help & Manual», а также приложение для расчета, созданного при помощи языка C#.

Учебное пособие содержит в себе руководящий, максимально исчерпывающий материал для курсового и дипломного проектирования по курсу «Паровые и газовые турбины», позволяет выполнить всю работу, не прибегая к дополнительным источникам информации.

Программа подразумевает нелинейное проведение расчетов, то есть последовательность выполнения работ строго не регламентируется и технически не ограничивается. Возможные ограничения связаны лишь с тем, что при несвоевременной попытке выполнить какой-либо этап расчета, пользователь столкнется с недостатком исходных данных.

Программа не предусматривает автоматический перенос результатов предыдущих этапов расчета в следующие. Каждый раз необходимые данные для расчета следует выбирать из протокола и переносить в нужную формулу. Этим подразумевается непосредственное участие обучаемого во всех этапах расчета для получения им наиболее полного представления о характере проводимой работы.

Так же в программе учтена защита алгоритмов вычисления от несанкционированного доступа. Цель данной защиты – предотвратить возможные попытки фальсификации результатов расчета.

Программу расчета можно запустить двумя способами:

1. из учебного пособия (рис. 1);
2. простым двойным кликом мыши по программе.

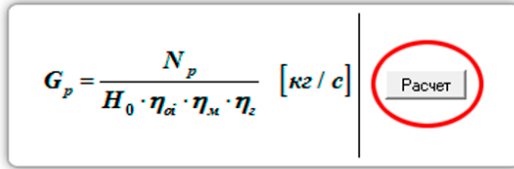


Рис. 1. Пример запуска программы

Типы окон, используемых в программе, представлены на рис. 2.

Все полученные и вводимые в ходе расчета данные записываются в протокол расчета (рис. 3).

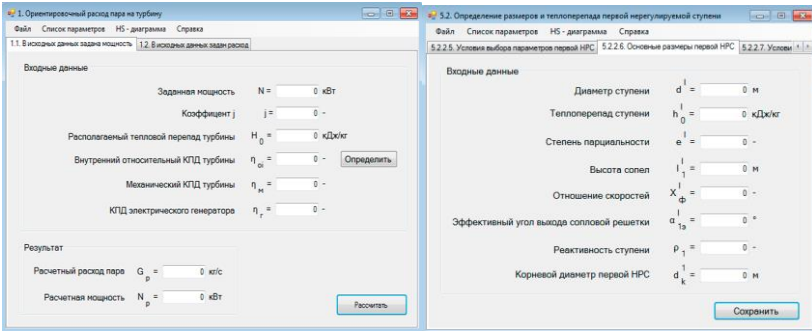


Рис. 2. Типы используемых в программе окон: а – расчетные окна; б – окна для установки заранее известных параметров

Предварительный расчет

Файл

Список параметров

| №   | Обозначение        | Наименование величины                       | Значение | Размерность |
|---|--------------------|---|----------|-------------|
| <b>1.1. В исходных данных задана мощность</b> |                    |   |          |             |
| 0101  | G <sub>p</sub>     | Расчетный расход пара на турбину            | 264      | кг/с        |
| 0102  | N <sub>p</sub>     | Расчетная мощность                          | 300000   | кВт         |
| 0103  | J                  | Кэффициент J                                | 1        | -           |
| 0104  | H <sub>0</sub>     | Располагаемый тепловой перепад турбины      | 800,72   | кДж/кг      |
| 0105  | η <sub>oi</sub>    | Внутренний относительный КПД турбины        | 0,8263   | -           |
| 0106  | η <sub>m</sub>     | Механический КПД турбины                    | 0,9963   | -           |
| 0107  | η <sub>г</sub>     | КПД электрического генератора               | 0,998    | -           |
| 0109  | G                  | Расход пара на турбину                      | 264      | кг/с        |
| 0110  | N                  | Заданная мощность                           | 300000   | кВт         |
| <b>1.2. В исходных данных задан расход</b>    |                    |   |          |             |
| 0201  | M <sub>p</sub>     | Количество отборов пара                     | 8        | шт.         |
| 0202  | P(0)               | Давление пара в отборе в номинальном режиме | 5,6      | бар         |
| 0203  | G <sub>0</sub> (0) | Расход пара в отборы в номинальном режиме   | 63       | кг/с        |
| 0204  | G <sub>0</sub>     | Расход пара через первую ступень потока     | 263      | кг/с        |
| 0205  | G <sub>z</sub>     | Расход пара через последнюю ступень потока  | 100      | кг/с        |

Показывать все параметры

Печать... Сохранить как...

Закреть

Рис. 3. Окно протокола расчета

Также реализованы такие возможности, как:

1. Построение графиков полученных данных (рис.4);
2. Построение процесса расширения пара по точкам в H-S диаграмме (рис. 5);
3. Построение структурной схемы турбоустановки (рис. 6).

Данную программу рекомендуется применять для курсового и дипломного проектирования в ВУЗах и колледжах, обучающихся студентов по дисциплине «Турбомашинны».

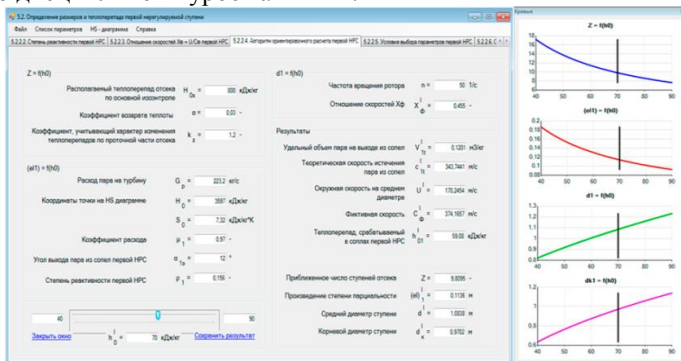


Рис.4. Построение графиков полученных данных

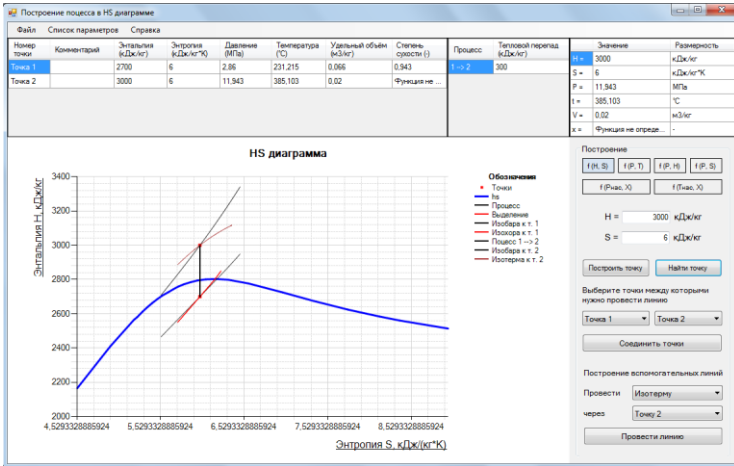


Рис.5. Построение процесса расширения пара в H-S диаграмме

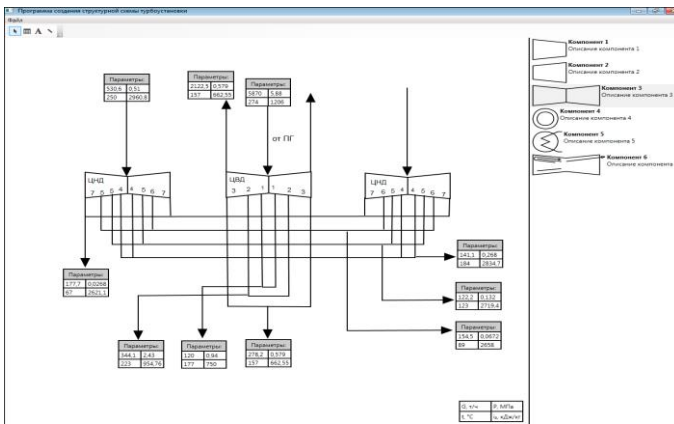


Рис. 6. Построение структурной схемы турбоустановки

В дальнейшем предполагается продолжение данного приложения, расширение его функциональных возможностей, а также интеграция с другими обучающими и расчетными программами.

*Е.Э. Алиакберов, студ.; рук. В.Г. Работаев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА УЧЕБНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

В наше время в учебный процесс все больше вовлекается вычислительная техника, в частности персональные компьютеры. И, соответственно, для них разрабатываются программы: это компьютерные обучающие системы, электронные учебники, программы для моделирования процессов, системы автоматизированного проектирования. Они значительно уменьшают нагрузку на преподавателей и студентов.

Огромное значение имеет практика работы с изученным материалом, поэтому в ходе учебного процесса необходимо выполнять расчеты. Эти расчеты выполняются студентами в расчетно-графических, курсовых, дипломных работах, при учебном проектировании.

Одной из таких работ является учебное проектирование турбины. Эта работа состоит из ряда последовательных расчетов, часть из которых выполняется подробно вручную, а часть выполняется с помощью компьютерных программ из-за своей громоздкости. Предварительный расчет, детальный расчет, расчет на прочность и профилирование лопаток турбины и другие.

Цели разработки данного программного продукта: структурировать и сделать более доступной часть проектирования, выполняемую с помощью ЭВМ, уменьшить ненужные затраты времени преподавателей и студентов.

Для создания данной программы использовалась среда разработки «Microsoft Visual Studio Express 2013». Язык программирования - «С#». Этот язык создан специально для платформы .Net Framework 4.0. Данная среда разработки позволяет создать приложения для операционной системы Windows. Платформа .Net Framework предназначена для создания оконных приложений с визуальным интерфейсом. Большое количество управляющих элементов, таких как таблицы, текстовые поля, рисунки и многое другое уже существует в наборе инструментов, что существенно упрощает задачи разработчика.

Была создана программная среда, которая обладает следующими основными характеристиками:

- Каждый расчет в этой среде является подключаемым модулем (плагином)
- Подключаемые модули - минимальные единицы цепочки расчетов.

- Возможность задать входные данные для модулей вручную, а так же посредством установления связей между значениями в них.
- Возможность сохранения/загрузки созданного проекта расчета в файл/из файла.
- Возможность прикрепить информацию о модуле, например, инструкцию по использованию.

В основе данной программы лежат такие типы объектов как:

- рабочая среда – это основной класс, который содержит все для работы с проектами и подключаемыми модулями. В нем находится список плагинов, список расчетных модулей, различные функции;
- плагины (подключаемые модули) – это класс, предназначенный для хранения, загруженного из подключаемого модуля (который существует в виде фала) кода и медиа данных;
- ячейка расчета – класс, который содержит в себе экземпляр модуля расчета и привязанные к нему наборы входных и выходных параметров. Обмен значениями параметров между модулями осуществляется на уровне ячеек и уже ячейки взаимодействуют с расчетными модулями;
- поле – хранилище значений различного типа с информацией о нем;
- поля – класс содержащий массивы полей, методы для работы с ними (используются для хранения и передачи параметров внутри программы и передачи их между ячейками);

Так же реализован класс файла проекта. Этот класс необходим для преобразования текущего состояния рабочей среды в приемлемый для сохранения в постоянной памяти вид. А так же сохранение полученной информации в файл. Из файла можно обратно полностью восстановить состояние рабочей среды и продолжить работу с момента сохранения.

Интерфейс программы выполнен в оконном стиле и содержит следующие элементы:

1. Главное окно программы (рис.1).

На нем расположены такие управляющие элементы как главное меню, список созданных экземпляров расчетных модулей, кнопки для управления ими. Область, в которой отображается выборочная информация, предназначенная для вывода на печать, кнопки для управления этой областью.

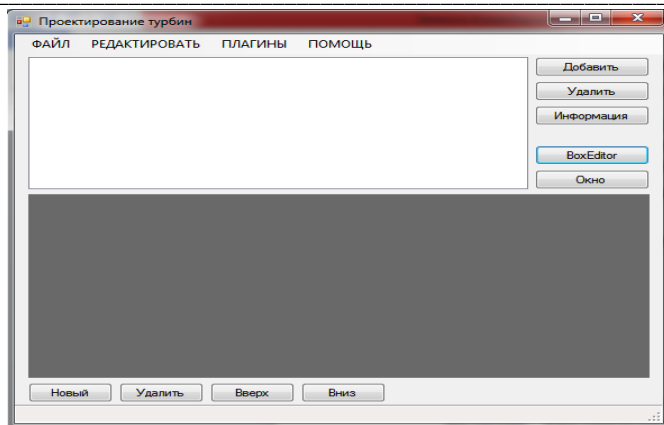


Рис. 1. Главное окно программы

2. Окно настройки подключаемых модулей (рис. 2).

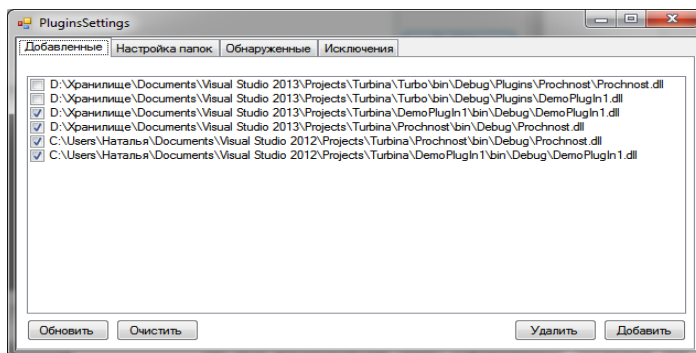


Рис. 2. Окно настройки подключаемых модулей

В этом окне находятся 4 вкладки: «Добавленные», «Настройка папок», «Обнаруженные», «Исключения». Здесь можно настроить то, какие подключаемые модули будут загружаться при загрузке программы и будут доступны для использования в расчетах. Также возможно выбрать папки для автоматической их загрузки.

3. Окно просмотра информации о модулях (рис.3).

Это окно используется для просмотра такой информации как название, версия, автор модуля, а так же сопоставленной с ним ин-

струкции. Содержит область со списком модулей, область для вывода информации и кнопку для вызова главного окна модуля.

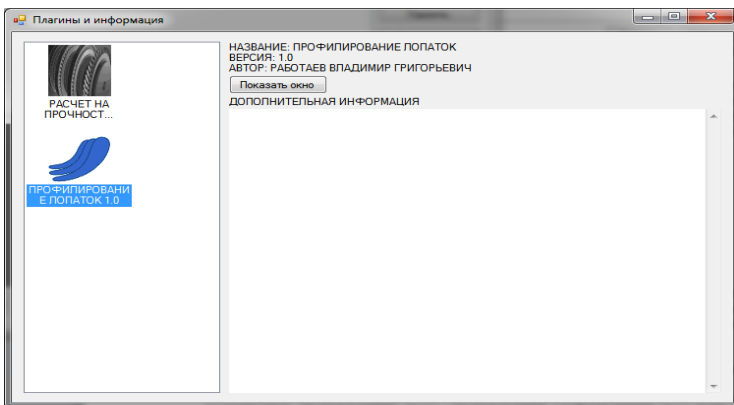


Рис. 3. Окно просмотра информации о модулях

#### 4. Окно под название «BoxEditor» (рис. 4).

Входные

| Имя               | Видение | Единица    | Ссылка     | Значение |
|-------------------|---------|------------|------------|----------|
| Расход газа нр... | ro_гори | кг/с       | Нет ссылки | 72.77    |
| Давление пере...  | Но_гори | бар        | Нет ссылки | 0.69     |
| Эмпирич. пере...  | кДж/кг  | Нет ссылки | 2658.10    |          |
| Тепловой пере...  | Но_гори | кДж/кг     | Нет ссылки | 130.30   |
| Давление за ст... | р2      | бар        | Нет ссылки | 0.28     |
| Кинетическая э... | Нак     | кДж/кг     | Нет ссылки | 11.39    |
| Степень развеш... | Ро      | т          | Нет ссылки | 0.37     |
| Частота враще...  | n       | т          | Нет ссылки | 50.00    |
| Средний диамет... | d1      | м          | Нет ссылки | 1.77     |
| Средний диамет... | d2      | м          | Нет ссылки | 1.77     |
| Высота соплова... | L1      | мм         | Нет ссылки | 250.00   |

Выходные

| Имя             | Видение         | Единица | Ссылка | Значение |        |        |        |
|-----------------|-----------------|---------|--------|----------|--------|--------|--------|
| Угол установки  | A_Цк_Ц          | °       | 45.59  | 44.96    | 44.10  | 43.33  | 51.53  |
| Твердиноская в1 | a1_Цк_Ц         | м/с     | 423.40 | 422.53   | 421.55 | 420.42 | 419.11 |
| °C              | Угол Альфа 01   | °       | 90.00  | 90.00    | 90.00  | 90.00  | 90.00  |
| °C              | Альфа 1 эвек... | °       | 33.63  | 32.53    | 31.39  | 30.24  | 29.03  |
| °C              | Альфа 11        | °       | 33.63  | 32.53    | 31.39  | 30.24  | 29.05  |
| мм              | Высота решетки  | мм      | 196.00 | 196.00   | 196.00 | 196.00 | 196.00 |
| °C              | Угол Бета 1     | °       | 0.33   | 0.31     | 0.30   | 0.29   | 0.28   |
| °C              | Угол установки  | °       | 95.12  | 87.66    | 79.96  | 72.26  | 64.81  |
| м/с             | Скорость С1     | м/с     | 199.18 | 199.18   | 199.18 | 199.18 | 199.18 |
| м/с             | Угол установки  | м/с     | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| м/с             | Угол установки  | м/с     | 309.64 | 370.84   | 380.36 | 386.66 | 410.73 |

Рис. 4. Окно BoxEditor

Это окно является отражением содержания ячейки расчета. Основные управляющие элементы – это таблица входных данных и таблица выходных данных. Данные могут быть введены вручную или быть привязаны к другим данным.



Д. В. Седов, асп.; А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХКОНТУРНЫХ АЭС С ПОМОЩЬЮ ЦИКЛА ДВУХ ДАВЛЕНИЙ С УСТАНОВКОЙ ПРЕДВКЛЮЧЕННОГО ЦИЛИНДРА

Основным недостатком влажнопаровых турбин, используемых на АЭС с ВВЭР, является низкая тепловая эффективность, так как реакторная установка такого типа не позволяет обеспечить высокие параметры острого пара. Кроме того, расширение происходит в области влажного пара, что дополнительно снижает внутренний КПД, надежность и ресурс турбины. В настоящее время перепад температуры теплоносителя в парогенераторе составляет 30 °С и является минимальным экономически эффективным.

Одним из способов повышения тепловой экономичности в данных условиях является применение предвключенных парогенераторов, что является реализацией цикла двух давлений, который был разработан применительно к АЭС с газоохлаждаемыми реакторами[1].

Применение цикла двух давлений позволяет разбить температурный перепад теплоносителя на две части. За счет высокотемпературной части нагрева теплоносителя в предвключенном парогенераторе высокого давления получаем пар более высокого давления, чем в цикле одного давления. За счет оставшейся низкотемпературной части нагрева теплоносителя в парогенераторе низкого давления получаем пар, который поступает в соответствующую ступень турбины. Т, Q – диаграмма такого процесса представлена на рисунке 1.

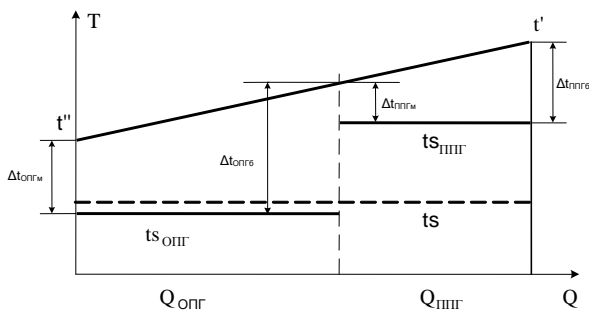


Рис. 1. Т, Q-диаграмма для цикла с предвключенными парогенераторами

Температурный напор при передаче теплоты от теплоносителя рабочему телу определяется зависимостью 1.

$$\delta t = \frac{\delta t_6 - \delta t_m}{\ln\left(\frac{\delta t_6}{\delta t_m}\right)}, \quad (1)$$

где  $\delta t_6$  – разность между температурой теплоносителя на входе в парогенератор,  $\delta t_m$  – недогрев в парогенераторе.

Как видно из рис. 1, температура генерируемого пара в предвключенном парогенераторе ( $t_{sППГ}$ ) будет значительно выше температуры генерируемого пара при использовании одного парогенератора ( $t_s$ ). Несмотря на то, что при использовании цикла двух давлений температура генерируемого пара в основном парогенераторе ( $t_{sОПГ}$ ) будет несколько меньшей, чем при использовании одного парогенератора, среднетермодинамическая температура подвода теплоты к циклу двух давлений будет несколько выше по сравнению с таковой в обычном цикле.

Возможно различное использование пара, образующегося в предвключенном парогенераторе. Его можно направить на перегрев пара в промежуточном перегревателе, но гораздо эффективнее направить его в предвключенный цилиндр (ПЦ), расположенный на одном валу с цилиндрами основной турбоустановки. После предвключенного цилиндра целесообразной является установка промежуточного сепаратора, после которого пар можно направить как в голову ЦВД, так и в промежуточные отсеки ЦВД. Возможные варианты компоновки турбоустановки, работающей по циклу двух давлений, с одним предвключенным цилиндром приведены на рис.2, с двумя предвключенными цилиндрами на рис.3.

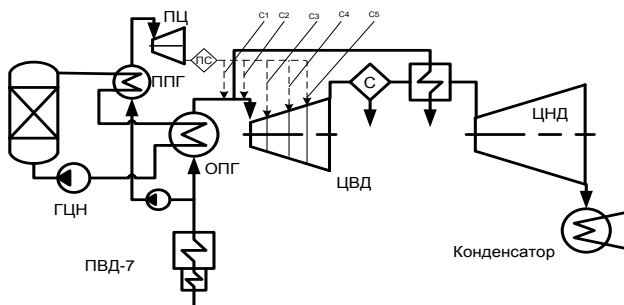


Рис. 2. Возможные варианты включения ПЦ в основную турбоустановку

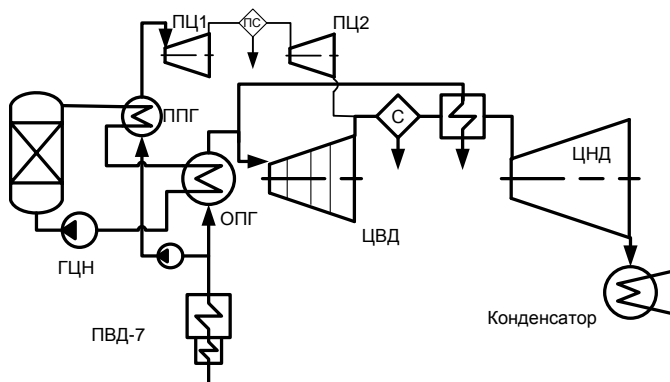


Рис. 3. Использование двух ПЦ при реализации цикла двух давлений.

Для сравнения эффективности цикла двух давлений с базовым циклом, реализуемым на АЭС с ВВЭР-1000 и турбиной К-1000-5,9/50 ПО ЛМЗ были проведены расчеты тепловых схем при условии постоянной тепловой мощности реактора  $Q_p=3000$  МВт с помощью программного комплекса “**СХЕМА**”.

Проведенные расчеты выявили, что наибольшее приращение тепловой экономичности имеет место для варианта с вводом пара из предвключенного цилиндра в ЦВД после второго отсека. Причем при увеличении мощности предвключенного парогенератора выигрыш по сравнению с вариантом со вводом пара в голову ЦВД увеличивается, достигая максимальной величины  $\sim 0,7\%$  при относительной мощности предвключенного парогенератора равной 0,75.

Реализация цикла двух давлений приводит к повышению капитальных затрат на дополнительный парогенератор, цилиндр турбоустановки, трубопроводы и другое оборудование, но, как показано в [2], такие затраты не оказывают существенного влияния на общую экономичность цикла.

#### Библиографический список

1. **Калафати Д.Д.** Термодинамические циклы атомных электростанций. – М.;Л.: Госэнергоиздат, 1963.
2. **Ильченко А. Г., Седов Д. В.** Применение цикла двух давлений на энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000/ Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. С. 201-202.

*О.В. Чернов, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СЕПАРАЦИИ И ПЕРЕГРЕВА ПАРА НА ЭНЕРГБЛОКАХ С ТУРБИНОЙ К-1000- 60/3000

Повышенная влажность пара, протекающего через лопаточный аппарат турбины, вызывает сильную эрозию лопаток и существенно снижает экономичность турбины. Чтобы снизить конечную влажность пара применяется промежуточная сепарация влаги из пара, а для исключения многократной сепарации - промежуточный перегрев. На АЭС с турбиной К-1000-60/3000 применяется сепаратор – пароперегреватель марки СПП-1000, с одной степенью перегрева пара и степенью сухости пара на входе 86%.

На выходе из СПП-1000 должна обеспечиваться степень сухости пара 99 %. Однако с течением времени, вследствие эрозионных процессов, она снижается до 97 %. Это приводит к следующим последствиям:

- ускоряется эрозионный износ элементов пароперегревателя;
- увеличивается отбор свежего пара на перегрев.

Одним из вариантов решения данной проблемы является установка перед СПП-1000 предвключенного центробежного сепаратора ЦСО-2200 (рис. 1). Степень сухости пара на выходе из него равна 94 %.

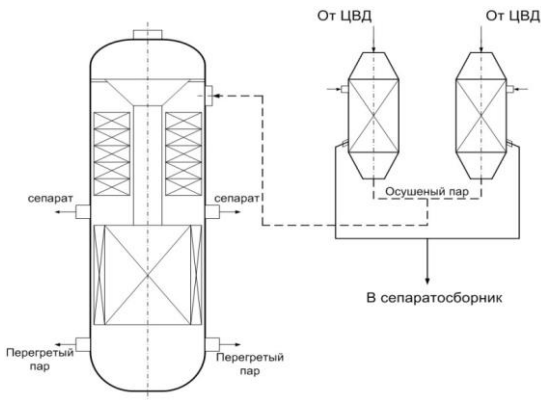


Рис. 1. Схема включения предсепаратора ЦСО-2200

Сепаратор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположены сепарационные модули, закрепленные своими концами в трубные доски.

Влажный пар из выхлопа цилиндра высокого давления подается через патрубки входа во входную камеру центробежного сепаратора. Оттуда он направляется в сепарационные модули, где завихрители придают потоку вращательное движение, в результате которого вода, содержащаяся в паре, под действием центробежной силы выпадает на внутренние стенки модуля и через кольцевую щель удаляется в сепарационную камеру. Осушенный пар попадает в развихритель и в выходную камеру сепаратора, откуда направляется в СПП-1000. Вода, отделенная от пара в межмодульном пространстве, осаждается на нижней трубной доске и удаляется через патрубки слива в общий с СПП-1000 сепаратосборник.

Установка предсепаратора позволяет избежать заметного снижения мощности турбины, а так же понижения КПД.

В данной модернизации повышение надежности достигается за счет снижения влажности потока нагреваемого пара на входе в сепаратор СПП-1000 и соответственно на входе в пароперегреватель, вследствие удаления основной доли влаги из пароводяного потока в выхлопе ЦВД в предвключенном центробежном сепараторе ЦСО-2200. В результате уменьшается эрозионный износ сепаратора.

Повышение экономичности работы энергоблока происходит за счет уменьшения расхода греющего пара на перегрев нагреваемого пара с более высокой степенью сухости на входе. Тем самым, проведенная модернизация создает условия для последующего продления установленного срока службы оборудования.

*Е.В. Барков, студ.; рук. С.Г. Андрианов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ 4-ГО БЛОКА НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

4 блок Нововоронежской АЭС был введен в эксплуатацию в 1971 году. В 2002 году истекал его проектный срок эксплуатации, который был продлен до декабря 2017 года. В связи с этим предлагается дальнейшее продление срока службы блока свыше 45 лет. Для осуществления этой цели требуется повышение безопасности и надежности дальнейшей его эксплуатации.

Проект 4-го блока Нововоронежской АЭС разрабатывался в 60-х годах. Разработка проекта была основана на концепции, предполагающей, что за счет обеспечения высокого качества оборудования и других компонентов реакторной установки, качества эксплуатации (контроля за состоянием металла и сварных швов оборудования и трубопроводов), можно избежать значительного их повреждения, исключив тем самым возможность серьезной аварии.

Вследствие этого, в качестве максимальной проектной аварии рассматривалась течь из трубопровода первого контура с эквивалентным сечением разрыва Ду32.

Для повышения безопасности блока и приведения его в соответствие с действующими нормативными документами необходимо расширить спектр аварий вплоть до разрыва главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) Ду 500.

Оценка последствий протекания аварии с гильотинным разрывом ГЦТ показывает, что она приведет к превышению максимального проектного давления в гермоограждениях (ГО). Для решения данной проблемы предлагается осуществить увеличение объемов герметичных помещений за счет объединения ГО 3 и 4 блоков Нововоронежской АЭС. При этом ограничение давления в герметичных помещениях реакторной установки в начальной стадии аварии с разрывом ГЦТ обеспечивается за счет увеличения объема ГО и работой двух струйно-вихревых конденсаторов (СВК). На последующих стадиях конденсация пара в герметичных помещениях и отвод тепла обеспечивается каналами спринклерных систем 3 и 4 блоков.

Разрыв ГЦТ приводит к выбросу из первого контура паро-водяной смеси, что влечет за собой резкое повышение давления в герметичных помещениях. Сначала повышается давление в конфайнменте 4-го блока. Давление в конфайнменте 3-го блока возрастает с небольшим запозданием за счет перетока туда паро-воздушной смеси из конфайнмента 4-го блока.

Максимальное значение абсолютного давления в герметичных помещениях модернизированного энергоблока 4 составляет 0,176 МПа и 0,129 МПа в конфайнменте 3-го блока (рис. 1). Затем давление в обоих конфайнментах снижается за счет работы струйно-вихревых конденсаторов.

Включение в работу насосов спринклерных систем на орошение боксов ПГ в конфайнментах 4-го и 3-го блоков приводит к тому, что давление в герметичных помещениях становится ниже атмосферного. При этом воздух начинает поступать в герметичные помещения извне

через неплотности герметичных помещений и струйно-вихревые конденсаторы.

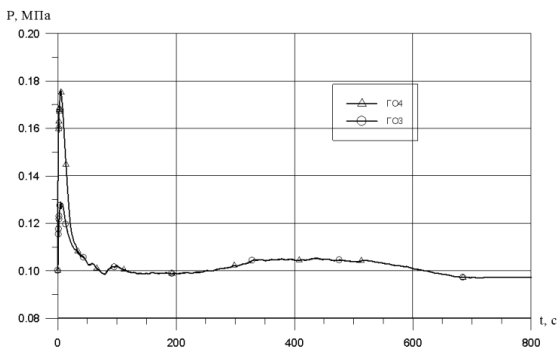


Рис. 1. Максимальное давление в герметичных объемах

Временное повышение давления в герметичных помещениях с максимумом примерно на 400-й секунде связано с увеличением выхода пара из первого контура через разрыв ГЦТ. Дальнейшее уменьшение поступления пара в конфайнмент 4-го блока приводит к очередному снижению давления ниже атмосферного и поступлению воздуха в герметичные помещения извне.

В последующем давление в герметичных помещениях стабилизируется на уровне несколько выше атмосферного.

Временное повышение давления в герметичных помещениях с максимумом примерно на 400-й секунде связано с увеличением выхода пара из первого контура через разрыв ГЦТ. Дальнейшее уменьшение поступления пара в конфайнмент 4-го блока приводит к очередному снижению давления ниже атмосферного и поступлению воздуха в герметичные помещения извне. В последующем давление в герметичных помещениях стабилизируется на уровне несколько выше атмосферного.

Выполненный анализ процессов в герметичных помещениях модернизированного 4 блока 4 Нововоронежской АЭС показывает, что представленная модернизация позволит обеспечить не превышение абсолютного давления в герметичных помещениях значения максимального проектного значения (0,20 МПа).

*Н.В. Чубко, инженер-оператор; рук. В.Н. Пучков д.т.н., проф.  
(СНУЯЭиП, г. Севастополь)*

## **ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА**

**Постановка задачи.** Все уравнения нестационарного теплообмена базируются на фундаментальных законах сохранения. В простейшем случае для составления таких уравнений достаточно использовать только закон сохранения энергии, который для нестационарного режима имеет вид:

$$\eta W_n - W_o = dQ_{вн}/dt, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент удержания тепла;  $W_n$  – подводимая мощность;  $W_o$  – отводимая мощность;  $Q_{вн}$  – внутренняя энергия рассматриваемого объекта (тепловыделяющего элемента, омывающего его теплоносителя и т.д.).

В стационарных режимах существует равенство между подводимой к рассматриваемому элементу мощностью (с учетом потерь) и мощностью, отводимой от него. То есть в стационаре  $\eta W_n = W_o$ .

В переходных режимах это равенство нарушается. Если при этом  $\eta W_n > W_o$ , то часть энергии накапливается в элементе, увеличивая его внутреннюю энергию. Если же  $\eta W_n < W_o$ , то происходит обратное явление – внутренняя энергия элемента уменьшается.

Зависимость (1) записана для некоторого элементарного объема рассматриваемого устройства. Чтобы распространить закон сохранения энергии на объект конечных размеров, необходимо перейти к частным производным по координатам и времени. Решение полученных при этом уравнений в частных производных возможно только численными методами, что нередко сопряжено с вычислительными сложностями.

Для упрощения задачи часто используют различные приближенные методы, наиболее распространенными из которых являются точно-параметрическое представление объекта (метод сосредоточенных параметров) и многоточечно-параметрическое представление объекта.

В первом случае параметры, являющиеся функцией времени, считаются независимыми от пространственных координат, то есть мо-



делируемый элемент как бы заменяется одной материальной точкой, состояние которой характеризуется усредненными по объему значениями параметров. Уравнения динамики, получаемые методом сосредоточенных параметров, являются обыкновенными дифференциальными уравнениями типа (1). Главным недостатком этого метода является невозможность вычисления параметров в различных точках моделируемого элемента.

Более точным приближением является многоточечно-параметрическое представление моделируемого элемента. В этом случае моделируемый элемент разбивается на несколько участков, каждый из которых представляется в виде материальной точки с усредненными значениями параметров. В результате каждый элемент описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений, порядок которой определяется числом участков, на которые разбит этот элемент. При этом точность учета пространственного распределения параметров возрастает по мере увеличения количества участков разбиения.

Для сопоставления двух названных приближений выполним математическое моделирование теплогидравлической ячейки реактора, состоящей из цилиндрического блока ядерного топлива и омывающего его теплоносителя.

**Метод сосредоточения параметров.** При моделировании нестационарного теплообмена в ячейке методом сосредоточения параметров в точке обычно пренебрегают потерей энергии в окружающую среду. Также часто считают, что параметром, определяющим внутреннюю энергию теплоносителя, является не его средняя температура, а температура на выходе из ячейки. В этом случае уравнения сохранения энергии для цилиндрического блока топлива (оболочкой твэла пренебрегли) и для заполняющего ячейку теплоносителя могут быть записаны в виде:

$$Q_T - \alpha_T F_T [T_T - 0.5(T_{ex} + T_{вых})] = d(c_T M_T T_T) / dt, \quad (2)$$

$$\alpha_T F_T [T_T - 0.5(T_{ex} + T_{вых})] - c_p G (T_{вых} - T_{ex}) = d(c_p V \rho T_2) / dt \quad (3)$$

В уравнениях (2), (3) приняты следующие обозначения:

- $Q_m$  – количество тепловой энергии, генерируемое блоком топлива в единицу времени,  $\kappa Bm$ ;
- $\alpha_m$  – коэффициент теплоотдачи от твэла к теплоносителю,  $\kappa Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$ ;
- $F_m$  и  $M_m$  – площадь поверхности и масса блока топлива,  $m^2$  и  $\kappa g$ ;
- $T_m$  и  $c_m$  – средняя температура и удельная теплоемкость топлива,  $^\circ C$  и  $\kappa Дж / (\kappa g \cdot ^\circ C)$ ;

- $T_{вх}$  и  $T_{вых}$  – температура теплоносителя на входе в ячейку и на выходе из ячейки,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $c_p$  и  $\rho$  – средние значения удельной теплоемкости и плотности теплоносителя в ячейке,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$  и  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- $G$  и  $V$  – расход теплоносителя через ячейку и его объем в ячейке,  $\text{кг}/\text{с}$  и  $\text{м}^3$ .

Будем считать, что в данном случае исследованию подлежат переходные процессы, в которых температура топлива и теплоносителя изменяются не очень существенно. Исходя из этого, можно сделать допущение, что удельная теплоемкость сред и плотность теплоносителя в переходных процессах остаются постоянными (равно как и коэффициент теплоотдачи от твэла к теплоносителю). А это значит, что под знаками производных останутся только температура топлива и температура теплоносителя на выходе из ячейки.

Таким образом, наша математическая модель представляет собой типичную задачу Коши второго порядка. Входными параметрами являются: мощность топливного блока  $Q_t(t)$ , расход теплоносителя  $G(t)$  и температура теплоносителя на входе в ячейку  $T_{вх}(t)$ . Могут варьироваться также геометрические характеристики элементов ячейки и теплофизические свойства теплообменивающихся сред. В результате решения этой системы дифференциальных уравнений будут найдены временные зависимости температуры топлива  $T_t(t)$  и температуры теплоносителя на выходе из ячейки  $T_{вых}(t)$ .

#### *Средства решения дифференциальных уравнений в Mathcad.*

Для численного решения дифференциальных уравнений в Mathcad предусмотрены встроенные функции, которые выбираются в диалоговом окне *Вставить функцию* из категории *Решение Дифференциальных Уравнений*. Несмотря на то, что каждая из этих функций реализует свой алгоритм решения задачи, все они требуют одной и той же базовой информации. Во всех случаях задаются:

- система дифференциальных уравнений;
- начальные условия;
- множество узлов сетки, в которых должно быть найдено решение.

Само решение дифференциальных уравнений имеет вид матрицы, содержащей значения функции в заданных узловых точках.

Одной из наиболее распространенных функций, предназначенных для решения задач Коши, является функция ***Rkadapt***( $y$ ,  $x1$ ,  $x2$ ,  $npoints$ ,  $D$ ), реализующая адаптивный алгоритм Рунге-Кутты. При ис-

пользовании этой функции шаг интегрирования уменьшается там, где производная изменяется быстрее, и увеличивая при снижении скорости изменения производной. Аргументами функции являются:

- $y$  – имя вектора начальных значений искомой функции и ее производных. Число элементов вектора равно порядку дифференциального уравнения. В нашем примере этот вектор имеет два элемента – начальную температуру ядерного топлива и теплоносителя.

- $x1, x2$  – граничные точки интервала, на котором ищется решение дифференциального уравнения. В нашем примере  $x1 = 0$ , а  $x2$  определяется необходимой продолжительностью моделирования процесса.

- **npoints** – число точек (не считая начальной), в которых ищется решение. Матрица, возвращаемая функцией  $Rkadapt$ , будет иметь  $(1 + npoints)$  строк. Несмотря на переменный шаг интегрирования, функция возвращает результаты расчетов в равноотстоящих друг от друга точках.

- $D$  – имя вектора-функции  $D(x,y)$ , содержащего выражения для первой и последующих производных искомой функции. В нашем примере он содержит правые части наших 2-х уравнений, представленных в виде Коши.

**Точечное моделирование переходных процессов.** При моделировании динамики могут быть заданы самые разнообразные начальные условия и возмущения по мощности твэла. Для примера был смоделирован переходный процесс, когда из начального "холодного" состояния (температура теплоносителя и топлива равны 50 градусам) мощность твэла увеличилась до 100 кВт и удерживалась на этом уровне в течение 10 секунд, после чего сработала защита и мощность уменьшилась практически до нуля. Расчет выполнен для трех значений коэффициента теплоотдачи от твэла к воде: 10000, 5000 и 2000 кВт/(м<sup>2</sup>\*градус С). Результаты расчета показаны в виде диаграммы, представленной на рис. 1.

*К.Г. Плужан, студ.; рук. В.К. Семенов д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО В НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКЕ**

С развитием вычислительных мощностей современных ЭВМ инженерам, ученым стали доступны развитые методы моделирования и расчёта сложных физических, экономических, биологических, социальных и квантовых систем, что дало сильный толчок развитию науки и техники. Всё чаще мы прибегаем к современным численным методам расчёта и моделирования, которые в корне отличаются от традиционных аналитических, дающих точный результат, но, порой, отличающихся весьма сложным способом реализации. Именно возможность переложить на ЭВМ больших рутинных расчётов вывела на передний план науки численные методы.

Численные методы обладают определёнными недостатками, как то: наличие неустранимой погрешности, большой объем вычислений, объектный характер и подчинение дискретным законам, но при этом всем, численные методы отличаются легкостью алгоритмизации, имеют механистическую природу и легко воплощаются в работающие на ЭВМ программы, которые, при желании, могут предоставить приемлемые для инженера приближения при изучении сложных, многомерных задач. Численные методы – мощный инструмент в руках современных инженеров, часто становится единственным способом изучения сложных динамических систем, управляющие уравнения которых имеют нелинейный характер, поэтому крайне сложны для применения в моделировании.

К таким сложным задачам можно отнести моделирование нейтронно-физических процессов в ядерном реакторе. Вероятностные законы взаимодействия отдельных элементарных частиц в веществе известны. Но при изучении поведения групп нейтронов, рожденных в недрах активной зоны ядерного реактора, мы сталкиваемся со сложным процессом взаимодействия огромного числа элементарных частиц с веществом. Есть вариант написать для каждой частицы систему уравнений состояния и взаимодействия с веществом и проследить судьбу этой частицы. Но. Если мы имеем одну, две, три, сто частиц – то задача, чисто теоретически, решается, но реальность оказывается гораздо сложнее, и, чаще всего, на практике, приходится иметь дело с миллиардами частиц, которые, ко всему прочему, имеют квантовую природу, что накладывает определённый отпечаток на способы изучения таких

систем. В таких ситуациях на помощь исследователю и приходят численные методы.

Собственно, об одном из этих методов в ракурсе его применения при изучении квантовых систем и будем писать. Это метод Монте-Карло.

Данный метод получил широкую известность в кругах инженеров благодаря простоте и эффективности применения, аппроксимации результатов и реализации. Сейчас метод широко используется по всему миру для реализации моделей сложных систем, в которых есть большое количество составных частей. Метод – вероятностный. Для моделирования используются генераторы случайных (псевдослучайных) чисел, которые часто являются аргументами моделируемого математического аппарата. Так же, метод получил широкое распространение в силу развития вычислительных мощностей современных ЭВМ, так как для генерации огромного числа случайных аргументов с и последующей математической обработкой требуются большие процессорные мощности.

Суть метода можно проиллюстрировать на простом примере нахождения определенного интеграла. При расчётах применяют геометрическую интерпретацию интеграла – площадь под кривой. Выделяют часть кривой, ограниченную пределами интегрирования, и высотой максимального значения подынтегральной выражения. Находят площадь получившегося прямоугольника как произведение максимального значения подынтегрального выражения на разность пределов интегрирования. Генератор случайных чисел генерирует массив значений, с областью значений, принадлежащей выделенному прямоугольнику. Проверяется условие попадания числа либо под кривую, либо выше кривой. Затем находим отношение количества чисел попавших под кривую к количеству чисел, попавших выше. Далее, приравниваем полученное значение отношения к отношению значения искомого интеграла к площади ограничивающего прямоугольника и из этого равенства получаем искомую величину определенного интеграла.

Из вышеизложенного видно, что ничего хитрого в методе Монте-Карло нет. Но есть одно но: для приемлемой точности получаемых результатов необходимо много таких точек, и они должны быть случайными (в крайнем случае, псевдослучайными). Собственно, поэтому и необходимы большие вычислительные мощности. Теперь посмотрим как применить данный метод в нейтронной физике.

Постановка задачи. Пусть нужно смоделировать процесс бомбардировки нейтронами стенки толщиной  $h$ . Определим число нейтронов, прошедших сквозь стену, поглотившихся в стене, и отраженных от

стены. Учитываем, что взаимодействие нейтронов с веществом характеризуется сечением поглощения и сечением рассеяния (не будем пока, для простоты, рассматривать случай деления ядер стенки нейтроном). Нам лишь необходимо проследить путь нейтрона в стенке, при условии, что длина свободного пробега нейтрона в стенке – величина СЛУЧАЙНАЯ. Ведь так и есть на самом деле. Принимаем также условие равной вероятности любого направления движения нейтрона после очередного столкновения, что учитывается равномерным распределением косинуса угла отражения нейтрона (относительно оси  $Ox$ ) в интервале  $[-1; 1]$ .

Тогда, используя обычные уравнения, характеризующие движение нейтрона в среде (учитывая при этом случайность величины свободного пробега нейтрона), после каждой итерации расчёта локального соответствия сечений взаимодействия с заранее заданными (нейтрон теряет энергию), мы можем написать простую программу, которая нам даст вероятности отражения, поглощения и прохода нейтрона от стены, в стене и сквозь стену соответственно.

Но, чем больше нейтронов мы будем отправлять на стену, тем дольше будет процесс просчета. Таковы издержки алгоритма, но при этом получаем увеличение точности результатов.

По данной методике составляется дипломная работа «Моделирование взаимодействия нейтронного потока с веществом методом Монте-Карло» - программный продукт с открытым исходным кодом, написанный на ОО языке Python, и реализующий нейтронно-физические процессы в веществе. Программа будет реализована на основе многопоточной архитектуры как библиотека расчёта НФХ различных материалов, доступная для свободного использования как открытый продукт, с открытым исходным кодом и графическим интерфейсом пользователя, под лицензией GNU GPL.

#### **Библиографический список.**

1. **Соболь И.М.** Метод Монте-Карло. М.: Наука. 1968.

*П.В.Петров, О.Ю.Шлыков, студ.; рук. А.Ю.Токов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТЕЙ СЕПАРАЦИИ ПАРА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ПГВ-1200МКП**

Для АЭС нового поколения, строящихся в настоящее время (НВАЭС-2, ЛАЭС-2 и др.), предусмотрены энергоблоки единичной мощностью 1200 МВт, для которых ОКБ «Гидропресс» был спроектирован новый парогенератор типа ПГВ-1000МКП (модернизированный, с коридорным пучком). В связи с этим представляет интерес сравнение конструктивных особенностей и условий работы этого парогенератора от серийного ПГВ-1000М, работающего на всех ныне действующих АЭС с ВВЭР-1000.

В проекте применена коридорная компоновка трубного пучка, которая в отличие от ранее принятой шахматной позволяет:

- увеличить скорость циркуляции в трубном пучке,
- снизить возможность забивания межтрубного пространства отслоившимся шламом,
- облегчить доступ в межтрубное пространство для контроля теплообменных труб и их очистки при необходимости,
- увеличить запас воды в парогенераторе.

Поскольку габариты ПГВ-1000МКП блока 1200 МВт лишь незначительно отличаются от габаритов ПГВ-1000М для блоков 1000 МВт, то средняя паровая нагрузка зеркала испарения возрастает лишь на 20 %. Одним из главных условий для обеспечения влажности пара не более 0,2% становится эффективность работы сепарационных устройств. В то же время из опыта эксплуатации ПГ известно, что повышение влажности в паровом коллекторе связано не столько с ухудшением эффективности механической сепарации, сколько с локальными проточками влаги через отводящие патрубки вследствие высоких местных скоростей ее уноса из-за неравномерной нагрузки зеркала испарения. Снижение этой неравномерности позволяет повысить эффективность гравитационной сепарации за счет более спокойного выхода пара с поверхности зеркала, т.е. уменьшения максимальных скоростей.

Показана возможность и целесообразность замены жалюзийных сепарационных устройств на потолочный дырчатый лист, что упрощает, удешевляет конструкцию ПГ и увеличивает ее надежность, а также освобождает дополнительный паровой объем для гравитационной сепарации. При этом рекомендуется неравномерная перфорация потолочного дырчатого листа, а именно более редкая в тех местах, которые

расположены под паропроводящими патрубками, а также в районе горячего коллектора теплоносителя.

Испытания ПГВ-1000М на некоторых действующих АЭС, где была произведена такая замена, при форсировании мощности до 104% и 107% номинальной, показали удовлетворительную равномерность нагрузки зеркала испарения.

В то же время, в ряде отчетов по испытаниям отмечено, что влажность пара в собирающих коллекторах неодинакова даже при одинаковых условиях работы всех четырех ПГ на одной реакторной установке. А именно, она выше в тех двух ПГ, у которых собирающий коллектор направлен в сторону днища, расположенного со стороны "горячего" коллектора теплоносителя, и ниже в двух других, у которых выход направлен в сторону "холодного" коллектора. Это обстоятельство следует учитывать при выборе компоновочных решений реакторного отделения. В качестве отдельной задачи можно рекомендовать индивидуальное профилирование дырчатого потолочного листа с применением 3D-моделирования профиля скоростей влажного пара в паровом объеме.

*Д.Ю. Кашин, асп.; рук. С.Т. Лескин, д.т.н., проф.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск)*

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС ПО ДАННЫМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

Для контроля состояния любого оборудования необходимо проводить периодические испытания, результатом которых являются значения технологических параметров. Перспективно использование методов статистики и теории распознавания образов для обработки результатов испытаний, что поможет выявить скрытую информацию и прогнозировать ухудшение состояния оборудования. В работе [1] такой подход применен к оценке состояния насосов систем безопасности АЭС. Их испытания длятся некоторое время, в течение которого периодически регистрируется ряд параметров. В [1] из результатов испытаний отбирались измерения, соответствующие наиболее информативным временным сечениям, различным для разных параметров, но общим от начала всех испытаний. Критерием являлась энтропия временного сечения. Каждое испытание насоса представлялось многомерным вектором, координатами которого являлись величины параметров в



выбранных сечениях. Далее испытания визуализировались на плоскости с использованием метода главных компонент (МГК) [2], анализ расположения испытаний на плоскости позволял делать выводы о состоянии оборудования и динамике его развития. Для оценки принадлежности испытания к тому или иному классу применялся аппарат теории нечетких множеств.

В данной работе эта методика усовершенствована, особенно, в области предварительной обработки данных, поиска информативных временных сечений и визуализации результатов. Некоторые типы искажений в исходных данных не позволяют получить достоверные результаты при обработке. Разработаны алгоритмы компенсации этих искажений, в частности – алгоритм выбросоустойчивой интерполяции с одновременной коррекцией применения апертурной фильтрации. Многие характерные для оборудования АЭС параметры (например, температуры охлаждающих сред) нельзя использовать напрямую при обработке данных по МГК, так как часть их дисперсии не имеет отношения к состоянию оборудования. Даны общие рекомендации по устранению этого фактора. Показано, что выбор для анализа нескольких временных сечений с максимальными значениями энтропии данных не гарантирует совокупного максимума содержащейся в них информации в силу их коррелированности. Для выбора предложен критерий, учитывающий общие составляющие информации во временных сечениях [3], стр. 105. Распределение энтропии сглаживается по Гауссу так, чтобы число оставшихся максимумов на 2-3 превышало заданное. Из них выбирается комбинация из требуемого числа сечений, передающая максимальную информацию. В области визуализации данных намного более наглядным и информативным оказалось представление испытаний на плоскости главных компонент не точками, а траекториями. Траектории состоят из точек, отражающих состояние оборудования в данный момент испытания. Точки на траекториях испытаний, поставленные с равным шагом по времени, позволяют оценить относительную скорость изменения состояния оборудования (например, рост температуры подшипников).

Проведена обработка данных по испытаниям насосов САОЗ Балаковской и Калининской АЭС, сделаны предположения о состоянии оборудования. Пример полученных результатов приведен на рис. 1.

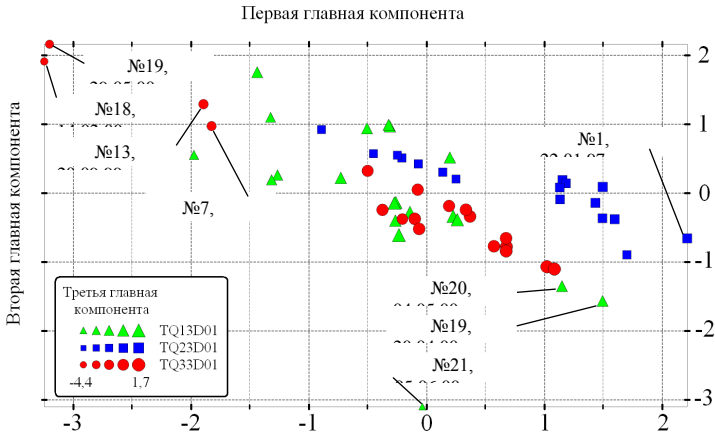


Рис. 1. Проекция данных по состоянию подшипников насосов низкого давления 4-го блока БалаЭС с 1997 по 2000 год на плоскость главных компонент

Анализ результатов позволяет предположить длительное ухудшение состояния подшипника №3 насоса TQ13D01 4-го блока БалаЭС с января 1997 по июль 2000, что в итоге привело к перегреву подшипника и прекращению испытания от 05.06.00. Аварийное испытание, обозначенное номером 21 на рис. 1, выбивается из общей тенденции. Использование описанной методики позволило бы заранее обратить внимание на поведение насоса.

#### Библиографический список

1. **Лескин С.Т.,** Корнилова В.В. О возможности идентификации аномалии в состоянии насосов высокого и низкого давления по результатам испытаний на АЭС с ВВЭР. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – №4, Обнинск: ОГТУАЭ. 2005.
2. **Фукунага К.** Введение в статистическую теорию распознавания образов. М.: Наука. 1979.
3. **Анисимов Б.В.,** Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа, 1983.

*О.В. Дервянко, асп.; рук. А.В. Королёв, д.т.н., проф  
(ОНПУ, г. Одесса)*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТУРБОПРИВОДА НАСОСА ДЛЯ АВАРИЙНОЙ ПОДАЧИ ВОДЫ В ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АЭС**

Обеспечение эффективного теплосъема в основном оборудовании АЭС (в частности, в парогенераторе) является известной проблемой, усугубляющейся существующим противоречием между необходимостью обеспечения достаточности водной среды во втором контуре энергоблока и отсутствием надежных средств подпитки в условиях потери водной среды в аварийных или предаварийных режимах работы оборудования, если учесть возможность электрообесточивания энергоблока. В настоящее время аварийная добавка циркулирующих водных сред в объем парогенераторов осуществляется аварийными электронасосами [1], которые не отвечают этим требованиям по условию полного аварийного отключения электропитания и, особенно, в случае отказа (или невозможности запуска) резервных дизель-генераторов.

Для устранения обозначенной выше проблемы предлагается использовать насосные агрегаты с турбоприводом. Причем, для обеспечения надежного привода подпиточного насосного аппарата предлагается комбинированная конструкция турбопривода, состоящая из посаженных на один вал лопаточной турбины Лавалья [2] и предвключенной дисковой турбины (турбины Теслы) [3], как это показано на рис. 1.

Предлагаемое техническое решение, благодаря комбинации двух конструктивно разнородных турбин, установленных соосно в одном корпусе, гарантирует оперативный надежный пуск агрегата в аварийной ситуации, приемлемую разгонную характеристику ротора насоса подпитки и включение в работу всей подпиточной системы, вследствие отсутствия необходимости предварительного разогрева вспомогательных конструктивных элементов турбопривода. Такая конструктивная компоновка также позволяет рационально распределить располагаемый теплоперепад между ступенями композиционной турбоустановки, поднимая степень сухости пара на выходе из лопаточной турбины и к.п.д., что также способствует повышению функциональной надежности устройства в целом.

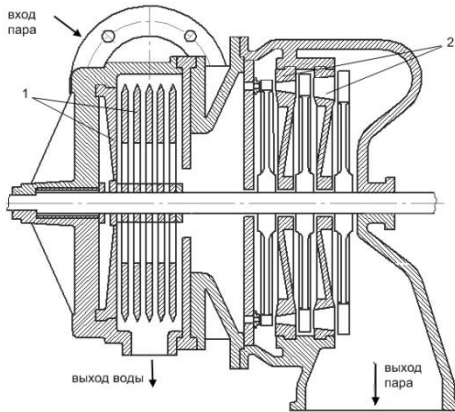


Рис. 1. Композиционная конструкция турбопривода: 1– дисковая турбина, 2 – лопаточная турбина.

Процесс расширения потока в комбинированной турбине представлен на рис. 2. Отражение этого процесса на  $h-s$  диаграмме с учетом заданных основных параметров, позволяет получить теплосепаратор, который обрабатывается дисковой турбиной: он составляет 320 КДж/кг (или, соответственно, 5...4 МПа перепада давления) [2].

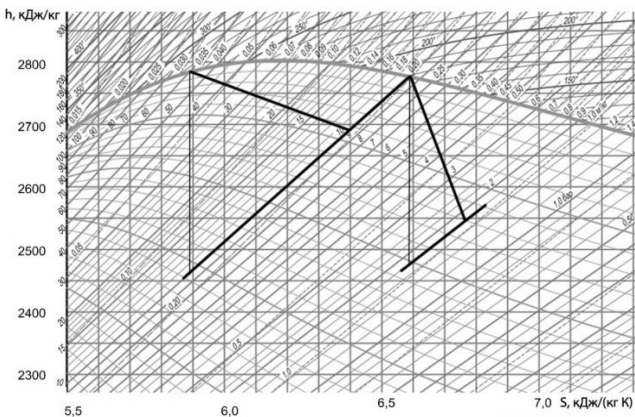


Рис. 2. Процесс расширения пара в комбинированной турбине в  $h-s$  диаграмме.

Из диаграммы видно (рис. 2), что процесс расширения пара в такой двухступенчатой конструкции турбопривода проходит в области влажности пара менее 12...14%, что является вполне удовлетворительным по условиям эрозийных разрушений [2].

Резюмируя, можно заключить, что композиционная конструкция турбоприводов насосных агрегатов для резервной подпитки парогенераторов АЭС является технологически выгодной и перспективной с точки зрения обеспечения высокой функциональной надежности. Использование в качестве композиционных элементов турбоприводов дисковой и лопаточной турбин обеспечивает высокий суммарный технический эффект, выражающийся в возможности подпитки парогенераторов АЭС собственным паром при помощи турбонасосных агрегатов. Предварительный числовой анализ параметров предлагаемого конструктивно–технологического решения показывает реализуемость и приемлемость рассмотренного технического решения.

#### Библиографический список

1. Герлига В.А., Полтавченко В.В., Скалозубов В.И. Основы безопасности АЭС с водоводяными реакторами. Учебн. пособие. – К.: ИСДО, 1993. – 264 с.
2. Щегляев А.В. Паровые турбины М.: Энергия, 1980.
3. Фонд возрождения технологий Николы Тесла. Электронный литературный ресурс ([http:// www.teslatech.com.ua](http://www.teslatech.com.ua)).

*Д.В. Гудеменко, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф.  
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРАГМЕНТАЦИИ КАПЛИ КОРИУМА В ВОДЕ

### 1. Введение

Будущее современной ядерной энергетики тесно связано с началом серийного строительства энергоблоков отвечающих наиболее современным требованиям безопасности. Важной составляющей задачи обеспечения безопасности ядерных энергетических установок (ЯЭУ) является изучение механизмов возникновения и протекания запроектных тяжелых аварий, наиболее тяжелой из которых считается расплавление активной зоны.

Традиционные реакторные коды имеют ряд проблем при моделировании теплогидравлических процессов, происходящих в активной зоне реакторной установки (РУ) при тяжелой аварии. Во многом эти трудности связаны с традиционным использованием при численном моделировании расчетных сеток, привязанных к фиксированной системе координат.

Альтернативным вариантом моделирования такого класса задач являются бессеточные методы. В настоящее время они получают все большее распространение при численном моделировании задач гидро-

динамики со свободными границами. Среди них выделяют подкласс методов частиц. Эти методы не требуют использование сетки ни на стадии построения функций форм, ни на стадии интегрирования уравнения движения. Их основная идея состоит в дискретизации области расчета набором лагранжевых частиц, которые могут свободно передвигаться в рамках наложенных на них, посредством основных уравнений динамики сплошной среды, связей.

В данной работе представляются результаты применения бессеточного полунявного метода движущихся частиц MPS (Moving Particles Semi-implicit) [1] к задаче о термической фрагментации капли кориума, имеющей важное значение в теории парового взрыва.

## **2. Анализ термической фрагментации методом MPS**

Фрагментация расплавленного металла является ключевым процессом при паровом взрыве. Скорость фрагментации определяет амплитуду волн давления. Для количественной оценки повреждений, вызванных паровыми взрывами, требуется четкое понимание процессов фрагментации. В частности, термическая фрагментация капли расплава является важнейшим процессом на стадии инициирования парового взрыва, т.к. влияние давления не достаточно сильно, чтобы вызвать гидродинамическую фрагментацию. Процессы термической фрагментации настолько быстрые, что их природу трудно определить экспериментально. Численное моделирование термической фрагментации также затруднено, поскольку требуется одновременно рассматривать расплав, пар и воду в процессе кипения и фрагментации. Использование классических методов конечных разностей при рассмотрении данной проблемы приводит к значительному искажению процесса из-за численной диффузии. Было предложено несколько моделей термической фрагментации.

### *Модель Kim-Corradini [2]*

В данной модели струи воды образуются из-за схлопывания паровой пленки вокруг капли расплавленного металла. Струи проникают в расплав и остаются под поверхностью расплава (рис 1). При последующем вскипании жидкости граничная часть расплава отрывается. Эта модель основана на предположении, что схлопывание паровых пузырей приводит к удару водяных струй о поверхность расплава. Однако, Yabe показал при помощи численного моделирования, что проникновение водяной струи не происходит, если плотность расплава больше плотности воды. Отношение плотностей двух жидкостей было 0,25. Koshizuka и Ока показали, что проникновение струи возможно, когда плотность струи несколько больше, чем плотность расплава, хотя в

реальности ситуации, как правило, ситуация полностью противоположная.

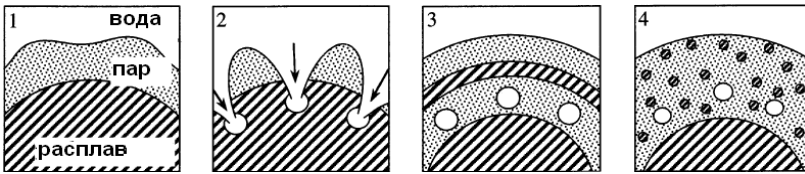


Рис 1. Модель Kim-Corradini [3]

#### Модель Ciccarelli-Frost [3]

Другая модель была предложена Ciccarelli и Frost [3]. Когда паровая пленка схлопывается, происходит неравномерный контакт холодной воды с горячим расплавом (рис 2).

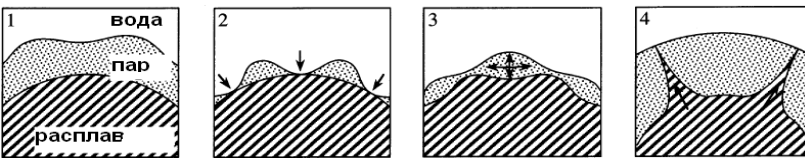


Рис. 2. Модель Ciccarelli и Frost [2]

В данном случае, кипение возникает также неравномерно: не на всей площади контакта воды с расплавом. Часть расплава отделяется от капли в местах менее интенсивного кипения, что приводит к фрагментации капли. На рентгенограмме, полученной Ciccarelli и Frost, можно увидеть большое количество «нитей» расплава, направленных от капли.

### 3. Постановка задачи

Задача рассматривается в двумерном приближении. Анализируются две ситуации: столкновение одной водной струи с расплавом и столкновение двух водных струй с расплавом (рис 3). В качестве материала расплава рассматривается олово при температуре 700 С, плотность  $\rho=6650$  кг/м<sup>3</sup>; вода при 100 С и плотность  $\rho=958.84$  кг/м<sup>3</sup>; масштаб длины характеризуется длиной струи  $l$ . Проводились вычисления при  $l=0.8$  мм и при 1.6 мм. Расстояние между струями принималось  $d=1.25l$ . Скорость струи  $v$  варьировалась в диапазоне от 1 до 30 м/с. Также предполагалось, что плотность струи жидкости также изменяется.

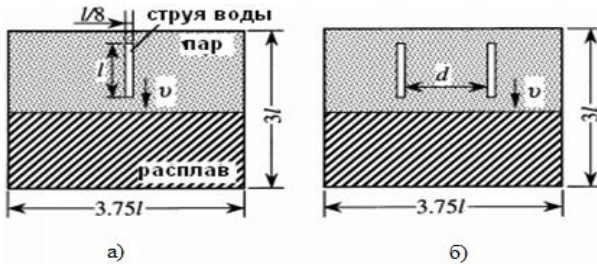


Рис. 3. Столкновение струй воды с расплавом олова: (а) одна струя (б) две струи

#### 4. Результаты расчетов

Результаты расчета столкновения одной струи с расплавом при параметрах струи  $l=0.8$  мм и  $v=5$  м/с представлены на рисунке 4 (а). На рисунке видна неглубокая дыра в расплаве (кратер) в результате взаимодействия струи с расплавом. В случае же, если плотность струи жидкости больше, происходит гораздо более глубокое проникновение струи воды в расплав. Результаты представлены на рисунке 4 (б).

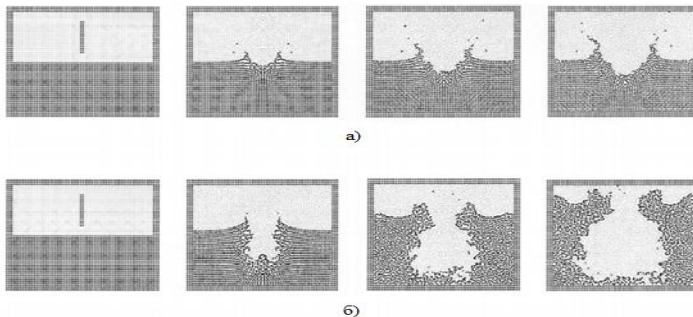


Рис. 4. Результаты вычислений в случае столкновения одной струи с расплавом,  $l=1.6$  мм и  $v=5$  м/с, интервал между картинками 0.6 мс:

а)  $(\rho_{jet}/\rho_{pool})=(\rho_{water}/\rho_{tin})=0.144$ ; б)  $(\rho_{jet}/\rho_{pool})=4.0$

Результаты взаимодействия двух струй воды с расплавом при тех же условиях представлены на рисунке 5(а). В ходе данного расчета можно заметить, что часть расплава, находящегося меж двух струй поднимается над поверхностью расплава и образует нить. Это согласуется с рентгеновскими снимками, полученными Ciccarelli и Frost [2].



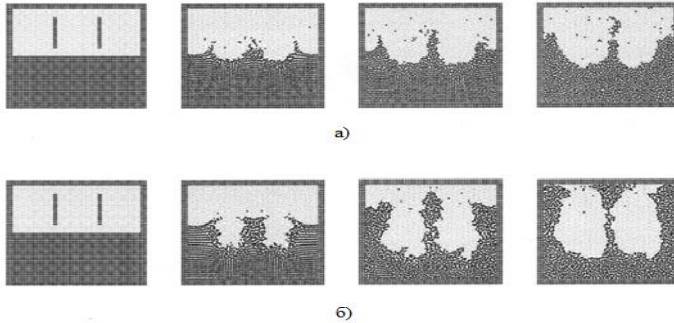


Рис. 5. Результаты вычислений в случае столкновения двух струй с расплавом,  $l=1.6$  мм и  $v=5$  м/с, интервал между картинками 0.6 мс. а)  $(p_{jet}/ p_{pool})=(p_{water}/ p_{tin})=0.144$ ; б)  $(p_{jet}/ p_{pool})=4.0$

### Спонтанное парообразование

Спонтанное парообразование рассчитано при параметрах  $l=1.6$  мм и  $d=3.0$  мм. Результаты вычислений, сравнивающие модель нормального и спонтанного кипения представлены на рисунке 6.

Задержка во времени  $\tau=0.22$  мс представлена на рисунке 6 (б). Снимки делались каждые 0.4 мс. Таким образом, самопроизвольное парообразование прекращается на 2 картинке. Отметим, что кратеры при учете самопроизвольного парообразования больше по размеру. Верхняя граница при данной расчетной геометрии представлена рядом частиц, давление которых равно 0. Эта граница может поглощать избыточные частицы пара. Это требуется для устойчивости решения.

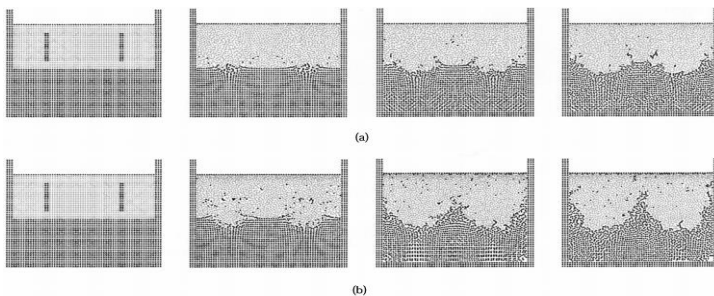


Рис. 6. Результаты расчета для различных моделей кипения:  
а) нормальное кипение; б) быстрое вскипание из-за спонтанного парообразования

На рисунке 7 показана высота нити расплава при различных значениях временных задержек. Скорость подлета нити расплава больше в

случае большей временной задержки. Это происходит вследствие большей накопленной энергии. Скорость подлета выходит на состояние насыщения при максимальном времени задержки  $\tau=0.42$  мс. В этом случае поверхность расплава покрыта паром и силы, тянущие нить вниз также работают в месте роста нити. Ускорение роста нити расплава означает рост фрагментации.

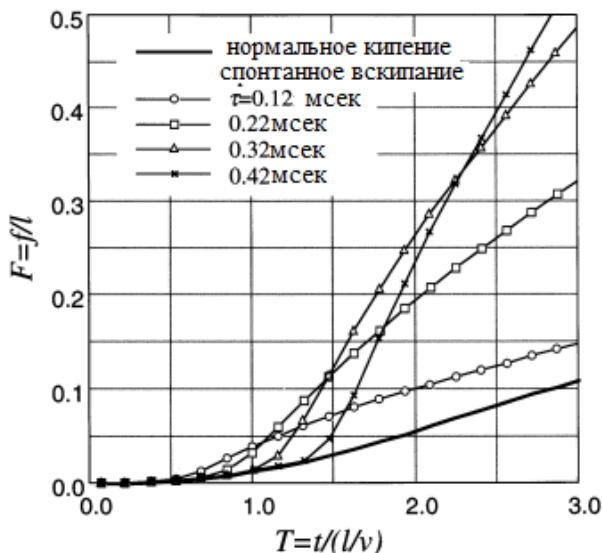


Рис. 7. Высота нити расплава в зависимости от времени задержки спонтанного парообразования

## 5. Заключение

Для исследования процесса фрагментации в качестве численного метода выбран полунейвный метод движущихся частиц MPS. Приведено его подробное описание.

Выполнено численное моделирование процесса столкновения одной водяной струи с расплавом и двух водяных струй с расплавом, используя MPS метод. Полученные результаты сопоставлены с двумя теоретическими моделями фрагментации капли расплава Kim-Corradini и Ciccarelli-Frost.

Установлено, что проникновение струи воды, которое предполагается в модели фрагментации Kim-Corradini, в расчетах не наблюда-

лось. Такое проникновение возможно только в гипотетической ситуации, когда плотность жидкости струи больше чем плотность расплава.

Расчет столкновения двух водяных струй с поверхностью расплава показал, что образуются тонкие образования («нити»), как это предполагается в модели Ciccarelli-Frost. Если предположить, что плотность жидкости струи больше, чем плотность расплава, то образование таких «нитей» не происходит.

Обычное («медленное») кипение не влияет на процесс фрагментации, поскольку характерное время его развития много больше характерного времени взаимодействия струи с расплавом. Спонтанное вскипание («быстрое») существенно ускоряет рост «нитей» и фрагментацию капли.

#### **Библиографический список**

1. **Koshizuka S.**, Tamako H., Oka Y. A particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation // International Journal of Computational Fluid Dynamics.-1995. N 4. – pp. 29-46.
2. **Ciccarelli G.**, Frost D.L. Fragmentation mechanisms based on single drop stem explosion experiments using flash X-ray radiography // Nuclear Engineering and Design.- 1994. 146 (1-3).- pp. 109-132
3. **Kim B.**, Corradini M.L., 1988. Modeling of small-scale single droplet fuel:coolant interactions // Nuclear Science and Engineering.- 1998. Vol. 98.- pp. 16–28.

***П.С. Климов, асп.; рук. О.И. Мелихов, д. ф.-м. н., проф.  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)***

## **АНАЛИЗ ФРАГМЕНТАЦИИ КАПЕЛЬ КОРИУМА В НАТРИИ**

Одной из главных задач, стоящих перед атомной отраслью на ближайший период, является обеспечение высокого уровня безопасности и надежности АЭС. В соответствии с нормативными документами оценка безопасности действующей атомной станции должна содержать анализ запроектных аварий.

Одним из наиболее опасных видов запроектной аварии является тяжелая авария, приводящая к разрушению активной зоны реактора. Существенное место в анализах тяжелых аварий на АЭС занимает рассмотрение термического взаимодействия высокотемпературного расплава материалов активной зоны (кориум) с охладителем (натрием). Оно может протекать как относительно медленно (характерные временные масштабы – секунды или минуты), когда происходит медленное остывание расплава вследствие теплоотдачи по механизму пле-

ночного кипения, так и взрывным образом, так называемый паровой взрыв, (характерные времена – миллисекунды), приводя к росту давления до сотен и тысяч атмосфер.

В отличие от проектных аварий, сценарий развития запроектных тяжелых аварий заранее не определен. Проведение крупномасштабных экспериментов, соответствующих сценарию протекания тяжелой аварии с плавлением активной зоны промышленных ЯЭУ, представляется невозможным в силу ядерной и радиационной опасности, а также низкой экономической эффективности. Математическое моделирование является альтернативным инструментом изучения физических процессов, позволяющим, при достаточной адекватности математических моделей, проводить различные численные имитации возникновения и развития вероятностных тяжелых аварий на ЯЭУ.

В настоящей работе методом математического моделирования исследуется процесс фрагментации каплей кориума в натрии, который является одним из ключевых при термическом взаимодействии этих сред. Используется бессеточный полунявный численный метод MPS (Moving Particle Semi-implicit), эффективный при анализе течений со свободными поверхностями [1, 2].

Процесс фрагментации капли расплавленного кориума в натрии при ее импульсном ускорении рассматривался в области представляющей собой квадрат, сторона которого в пять раз превосходила начальный диаметр капли кориума. На всех четырех границах расчетной области задавались условия скольжения жидкости. Использовалось около 10 000 жидких частиц для моделирования исследуемого процесса. В начальный момент капле жидкого кориума сообщалась некоторая скорость  $U_0$ , направленная в сторону левой границы, и моделировалась дальнейшая эволюция капли.

В расчетах были использованы следующие значения свойств натрия и кориума: начальный диаметр капли 0.009 м, плотность 9000 кг/м<sup>3</sup>, вязкость  $2.82 \cdot 10^{-4}$  Па\*с, поверхностное натяжение 0.4 Н/м; плотность натрия 840 кг/м<sup>3</sup>.

Были выполнены три расчета, соответствующие числам Вебера ( $We$ ) 12, 13, 15. В таблице 1 приведены параметры, с которыми выполнялись эти расчеты.

**Таблица 1. Параметры расчетов**

| № | $d_0$ (мм) | $U_0$ | $\varepsilon = \rho_c / \rho_d$ | We |
|---|------------|-------|---------------------------------|----|
| 1 | 9          | 0.730 | 1/9.2                           | 12 |
| 2 | 9          | 0.760 | 1/9.2                           | 13 |
| 3 | 9          | 0.816 | 1/9.2                           | 15 |

На рис. 1, 2 и 3 показаны формы деформирующейся капли в конечный момент времени рассмотрения деформации при различных числах Вебера, равных 12, 13 и 15.

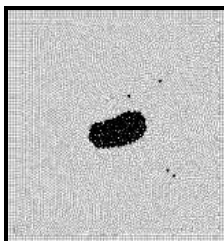


Рис. 1. Форма деформирующейся капли в конечный момент времени (0.1586 с), We=13.

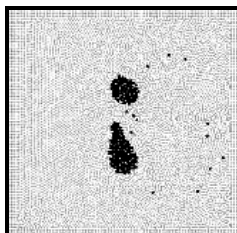


Рис. 2. Форма деформирующейся капли в конечный момент времени (0.110 с), We=13.

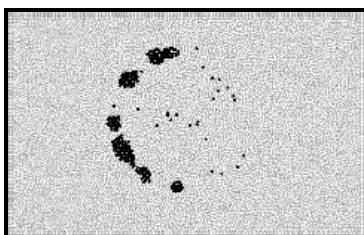


Рис. 3. Форма деформирующейся капли в конечный момент времени (0.100 с), We=15.

Проанализировав результаты исследования, был сделан вывод, что эволюция капли происходит в две стадии. Во время первой стадии капля подвергается растяжению в поперечном направлении. На второй стадии капля фрагментирует, когда число Вебера становится больше критического (в нашем случае это значение равно 13). Картина после

распада материнской капли зависит от числа Вебера. Количество образующихся фрагментов растет с увеличением числа Вебера. Подробнее остановимся на каждой стадии эволюции капли.

Первая стадия эволюции капли – деформация капли. Когда капля импульсно ускоряется в окружающей ее жидкости, ее форма зависит от распределения давления по поверхности капли. В условиях равновесия внутреннее давление в любой точке на поверхности капли уравновешивает внешнее гидродинамическое давление и силу поверхностного натяжения. Однако распределение давления по поверхности капли не симметрично в передней и задней части капли относительно потока из-за образования кильватерного следа за тыловой частью капли, точно также как и в случае равномерного обтекания потоком. Скорость омывающей жидкости имеет максимальное значение на экваториальной линии капли и равна нулю в точке торможения жидкости на фронтальном полюсе капли. Поэтому, жидкость капли ближе к экватору движется быстрее относительно потока, чем центральная часть, формируя вогнутый профиль по направлению потока.

В соответствии с законом Бернулли давление выше на полюсах капли и ниже на ее экваторе. Такое распределение давления по поверхности капли заставляет ее деформироваться, менять форму с правильной сферической, сплющиваться в форму эллипса, направленного по нормали к потоку омывающей жидкости. Деформация капли увеличивает сопротивление капли потоку. Это снижает гидродинамические колебания давления между передней и задней частью капли, и начинает усиливаться влияние силы поверхностного натяжения. Достигнет ли капля равновесной формы, зависит от отношения между гидродинамическим давлением и силами поверхностного напряжения. До того, как равновесие будет разрушено, капля будет продолжать деформироваться без дробления. До тех пор пока гидродинамическое давление не превысит силы поверхностного натяжения, капля будет сохранять свою изначальную круглую форму для числа Вебера  $We=12$ , для того, чтобы капля начала дробиться, число Вебера, как показали приведенные расчеты, должно быть не меньше 13.

Вторая стадия эволюции капли – ее дробление. На втором этапе поведение капли зависит от величины числа Вебера. Для  $We=13$  капля продолжает сплющиваться и вытягиваться по нормали к потоку набегающей жидкости. В момент времени  $t=0.08$  секунды точка дробления появляется возле центра капли и капля дробится на две части примерно одного размера в момент времени  $t=0.094$  секунды. С теоретической точки зрения, появление этой точки дробления вызвано ростом волн на поверхности сплюсненной капли (неустойчивость Кельвина-

Гельмгольца и Рэлея-Тэйлора). Капля в итоге делится на две примерно равные части. Таким образом, можем сделать вывод, что критическое значение числа Вебера для капли диоксида урана, испытывающей импульсное ускорение в натрии равно 13. Для  $We=15$  появляется несколько точек дробления, которые равномерно распределены по поверхности капли и происходит ее деление на примерно шесть равных по размеру частей. В соответствие с зависимостью критической длины волны от числа Вебера, определенного из теории неустойчивости, большее значение числа Вебера соответствует меньшему значению критической длины волны. По этой причине при числе Вебера равном 15 формируется больше точек дробления. В заключении можно сказать, что рост волн на поверхности капли вследствие развития неустойчивости является главным механизмом дробления капли на втором этапе и именно оно определяет количество капель после дробления.

#### Библиографический список

1. **Koshizuka S., Oka Y.**, Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid. Nucl.Sci. Eng. 123, 421–434., 1996.
2. **Koshizuka S., Oka Y.**, Development of a particle method for calculating fragmentation of incompressible viscous fluid. Proc. US:Japan Joint Seminar: A Multidisciplinary Int. Seminar on Intense Multiphase Interactions, Santa Barbara, CA, pp. 145–158., 1995.

*Н.О. Разуваев, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ПИТАНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

При нормальной работе блока АЭС на мощности тепловая энергия, вырабатываемая в реакторе, отводится через ПГ во второй контур, где она срабатывается на турбогенераторе. Система аварийной подачи питательной воды в парогенераторы предназначена для подачи питательной воды в парогенераторы в аварийных режимах работы блока, связанных с обесточиванием блока, сейсмическими воздействиями и нарушением нормальной подачи питательной воды в парогенераторы.

К режиму нормальной эксплуатации относятся режимы пуска и останова системы и эксплуатация системы в стационарном режиме

работы блока. 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 находится система КИП и сигнализации. К насосным агрегатам подведена охлаждающая вода. Баки заполнены обессоленной водой до номинального уровня. Система аварийной питательной воды 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 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 химобессоленной 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.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерно-



го учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

**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.

*Алейник Н.О., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ГИДРОИСПЫТАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И  
ОБОРУДОВАНИЯ ПТУ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ  
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Система гидроиспытаний предназначена для обеспечения проверки на плотность и прочность элементов трубопроводов и оборудования машзала после монтажа или ремонта, а также во время технического освидетельствования на параметры, оговоренные в рабочих программах.

В состав системы гидроиспытаний трубопроводов и оборудования второго контура входят:

- трехплунжерный кривошипный насос, приводимый в действие электродвигателем через клиноременную передачу;
- предохранительный пружинный клапан, защищающий оборудование от недопустимого превышения в нем давления при проведении гидравлических испытаний;
- регулирующий дроссельный клапан ручного действия, обеспечивающий требуемое программами гидроиспытаний пробное давление в системах и оборудовании второго контура;
- трубопроводы и запорные дренажные вентили.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подго-

товка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы гидроиспытаний трубопроводов и оборудования ПТУ К-1000-60/3000. 03.УЕ.ПЭ. 0024.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы системы гидроиспытания оборудования и трубопроводов. 03.УЕ.ЭС.0041. 44. Калининская АЭС.

*Н.О. Алейник, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*

### **СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПТУ К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Высокий уровень автоматизации технологических процессов и технологических защит и блокировок турбинного оборудования предполагает отсутствие вмешательства в работу автоматических устройств во время аварии. В то же время, персонал обязан представлять ход развития аварии и логику действия автоматики для осуществления контроля и своевременного принятия управления на себя в случае отказа автоматических устройств.

При возникновении аварии оперативный персонал должен немедленно принять меры к ее ликвидации и сообщить о ней НС ТЦ. НС ТЦ немедленно посылает на место аварии СМТО для уточнения обстановки или определяет ее сам и извещает НС АС (ЗНСО АС), начальника ТЦ или его заместителя.

Оперативным руководителем по ликвидации аварии в цехе, не угрожающей выходом из строя оборудования и не нарушающей технологический процесс работы блока в целом, является НС ТЦ.

Оперативным руководителем при ликвидации аварии, могущей привести к выходу из строя основного оборудования или нарушению технологического процесса в целом, является НС АС.

Во время ликвидации аварий сменный персонал ТЦ и сменный персонал других цехов должен находиться на своем рабочем месте, независимо от того, на каком участке создано аварийное положение, усилить наблюдение за показаниями КИП и работой оборудования, контролировать срабатывание защит и блокировок, не вмешиваясь в их работу. В случае отказа срабатывания защит и блокировок выпол-

нить необходимые операции дистанционно или по месту. Отключать защиты в аварийной ситуации запрещается.

Покидать рабочее место разрешается: по распоряжению оперативного руководителя по ликвидации аварии; при опасности для жизни; для оказания первой помощи пострадавшему при несчастном случае.

Присутствие лиц в ТО, не участвующих в ликвидации аварии, воспрещается. Лица, не входящие в состав вахты, но имеющие право присутствовать в ТО при аварийном положении, не имеют права, независимо от их служебного положения, отвлекать оперативный персонал разговорами или расспросами.

При возникновении аварии дежурный персонал обязан: на основании показаний КИП и по внешним признакам работы оборудования составить общее представление о том, что и где произошло; немедленно принять меры по устранению опасности для людей и оборудования вплоть до отключения последнего, в остальных случаях принять меры по восстановлению нормальной работы оборудования; отметить характер и места повреждения; на каждом этапе ликвидации аварии докладывать непосредственному начальнику о результатах своих действий, по возможности немедленно, не дожидаясь опроса; действовать быстро и точно, но без торопливости, помня, что поспешное необдуманное действие может только усугубить развитие аварии.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1].

#### **Библиографический список**

1. **Эксплуатационная** инструкция по предупреждению и ликвидации аварий оборудования ПТУ К-1000-60/3000. 03.SA.ПЭ. 0026.44. Калининская АЭС.

*Н.С. Железов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
МАСЛОУПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРА  
ТУРБОАГРЕГАТА К-1000-60/3000 КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ  
РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Маслосистема УВГ предназначена для снабжения уплотнений вала генератора уплотняющим маслом, с целью предотвращения выхода водорода из корпуса генератора в местах выхода ротора через наружные щиты статора и создания тем самым безопасных условий эксплуатации водородного охлаждения ротора генератора.

В состав маслосистемы УВГ входят:

- два масляных уплотнения вала генератора, предназначенные для предотвращения выхода водорода из корпуса генератора в местах выхода ротора через наружные щиты статора;
- маслобак уплотнений, предназначенный для длительного поддержания качества масла и приема масла при остановке маслососов уплотнений и опорожнении маслосистемы;
- три маслососа уплотнений;
- два маслоохладителя; два масляных фильтра, обеспечивающие полную очистку масла от механических частиц;
- магнитный фильтр, предназначенный для очистки масла от случайных ферромагнитных частиц;
- два регулятора перепада давления;
- два бака демпферных;
- три маслоуловителя, предназначенные для предотвращения выхода аэрозолей масла в атмосферу;
- три эксгаустера, предназначенные для вентиляции газовых объемов маслобака уплотнений, водородоотделительного бачка и гидрозатвора ЗГ-1 (с целью предотвращения выхода водорода и аэрозолей масла в помещение машзала и предотвращения образования взрывоопасной смеси воздуха с водородом).

Из маслобака масло поступает на всас трех маслососов уплотнений типа ЦНСМ 38-132. При нормальной работе маслосистемы работает один насос, а два других находятся в резерве. Масло МНУ подается к РПД (регулятору перепада давления), проходя последовательно маслоохладители, масляные и магнитный фильтры.

РПД обеспечивает автоматическое поддержание в уплотнении требуемого перепада между давлением уплотняющего масла и давлением водорода. Подача уплотняющего масла на масляные уплотнения производится через демпферные баки.

При нормальной работе маслосистемы уровень масла в демпферных баках должен находиться в трубопроводах их водородной связи с поплавковым гидрозатвором. Технологическая схема трубопроводов обвязки демпферных баков не допускает вывод в ремонт одного из них без отключения второго.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### **Библиографический список**

1. **Инструкция** по эксплуатации системы уплотнения вала генератора турбоагрегата К-1000-60/3000 03.SU.ПЭ.0021.44 Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы маслоуплотнения вала генератора 03.SU.ЭС.0008.44. Калининская АЭС.

*А.Г. Соловьев, магистрант; рук. И.А. Чусов к.т.н, доц.  
(ИАТЭ, г. Обнинск)*

## **ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОНЯТИЙНОГО ТРЕНАЖЕРА РЕАКТОРА ЭГП-6**

Разработка понятийных тренажеров, с той или иной степенью детализации физических процессов, является достаточно сложной и неоднозначной в физическом и математическом плане задачей. При теплогидравлическом расчете энергетических установок необходимо решать задачи о начальном прогреве, режиме расхолаживания и переходных процессах, как в контуре циркуляции, так и в самой реакторной установке. При этом результаты расчета должны либо: 1) соответствовать регламентным нормам скорости разогрева, нормальной эксплуатации или расхолаживания, предъявляемые к элементам конструкции тракта циркуляции; 2) отражать сценарии развития проектных или запроектных аварийных ситуаций.

Представляется очевидным, что описать все многообразие развития событий в различных элементах реакторной установки и контура циркуляции в рамках единой математической модели не представляется возможным. И возникает необходимость разделять эти модели, как для различных элементов оборудования, так и для различных физических процессов.

В настоящей работе приводится описание теплогидравлической модели течения в активной зоне и контуре циркуляции реакторной установки уран-графитового типа ЭГП-6. Вследствие недостатка места кратко описывается только математическая модель течения однофазного теплоносителя в контуре циркуляции.

Исходная система уравнений для движения некипящего теплоносителя в контуре циркуляции имеет следующий вид [1]:

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial c_f}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial s} (\rho_f W_f) = 0 \quad (1)$$

- уравнение импульса

$$\frac{\partial (\rho_f W_f)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial s} (\rho_f W_f^2) = -\frac{\partial P}{\partial s} - \sum_{i=0}^N F_i - \rho_f g \cos(\theta) \quad (2)$$

- уравнение энергии теплоносителя

$$\rho_f c_f F_f \frac{\partial T_f}{\partial \tau} + \rho_f c_f W_f F_f \frac{\partial T_f}{\partial s} = \Pi_f \alpha_f (T_k - T_f) + \Pi_{TO} k_{TO} (T_T - T_f)$$

- уравнение энергии для стенки канала

$$\rho_k \Pi_f \delta_k c_k \frac{\partial T_k}{\partial \tau} + k_m \Pi_m (T_m - T_k) + \Pi_f \alpha_f (T_k - T_f) \quad (4)$$

- уравнение энергии для окружающих контур масс

$$\rho_m c_m F_m \frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \Pi_m k_s (T_s - T_m) - \Pi_m k_m (T_m - T_k) \quad (5)$$

В качестве начальных условий используются:

- величина расхода по контуру циркуляции

$$G_f = \rho_f W_f F_f;$$

- начальная температура теплоносителя в контуре циркуляции

$$T_{inp} = Const.$$

В качестве дополнительных условий используются:

- гидравлическая характеристика контура (задается геометрическими параметрами и особенностями компоновки контура циркуляции)

$$\Delta p_k = \Delta p_{kN} \left( \frac{G_f}{G_f} \right)^2; \quad (6)$$

- гидравлическая характеристика нагнетателя (задается эксплуатационными характеристиками нагнетателя)

$$\Delta p_c = \Delta p_{c0} \left[ 1 - \left( \frac{G_f}{G_{fN}} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

Здесь:  $\rho_f$  – плотность теплоносителя, [кг/м<sup>3</sup>];  $W_f$  – скорость теплоносителя, [м/с];  $F_f$  – площадь проходного сечения канала, [м<sup>2</sup>];  $\Delta p_c$  – действительный напор насоса, [Па];  $\Delta p_{c0}$  – номинальный напор насоса, [Па];  $\Delta p_k$  – перепад давления на контуре, [Па];  $\Delta p_{kN}$  – номинальный перепад давления на контуре, [Па];  $P_f$  – периметр канала, [м];  $P_{ТО}$  – периметр теплообменника как функция координаты  $S$ , [м];  $P_m$  – периметр окружающих масс как функция координаты  $S$ , [м];  $c_f$  – теплоемкость теплоносителя, [кДж/(кг·К)];  $c_k$  – теплоемкость стенки канала, [кДж/(кг·К)];  $c_m$  – теплоемкость окружающих масс [кДж/(кг·К)];  $\alpha_f$  – коэффициент теплоотдачи, [Вт/(м град)];  $k_{ТО}$  – коэффициент теплоотдачи теплообменника, [Вт/(м град)];  $k_e$  – коэффициент теплоотдачи от электронагревателя к окружающим массам, [Вт/(м град)];  $k_m$  – коэффициент теплоотдачи от окружающим масс к стенке канала (с учетом контактных термических сопротивлений), [Вт/(м град)];  $T_f$  – температура теплоносителя, [К];  $T_k$  – температура стенки канала, [К];  $T_m$  – температура электронагревателя, [К];  $T_e$  – температура окружающих масс, [К].

Для решения системы дифференциально-алгебраических уравнений (1) – (7) была разработана расчетная программа, позволяющая решать нелинейные уравнения следующего вида:

$$\sum_{i=1}^N \left[ P_{ij} \frac{\partial U_j}{\partial t} + \frac{\partial F_i}{\partial x} = C_i \frac{\partial D_i}{\partial x} + S_i \right] \quad (8)$$

$$U(x, t) = [U_1(x, t), U_2(x, t), \dots, U_N(x, t)]$$

Здесь  $N$  – количество дифференциальных уравнений в частных производных. В (8)  $P_{ij}$ ,  $F_{ij}$ ,  $C_{ij}$  определяются как алгебраические, необязательно линейные уравнения

$$P_{ij} = P_{ij}(x, t, U), \quad F_{ij} = F_{ij}(x, t, U), \quad C_{ij} = C_{ij}(x, t, U).$$

Алгоритм программы основан на методе линий с разностями против потока и регуляризацией [2, 3]. Для проверки правильности работы программы была решена следующая тестовая задача

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho u^2 + (\gamma - 1) \left( h - \frac{\rho u^2}{2} \right) \right] = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ u h + u (\gamma - 1) \left( h - \frac{\rho u^2}{2} \right) \right] = 0, \quad (11)$$

Давление определяется как

$$p = (\gamma - 1) \left( h - \frac{\rho u^2}{2} \right). \quad (12)$$

$$0 \leq x \leq 1 \text{ для } t \leq 0, 2.$$

Начальные условия

$$\rho(x, 0) = 1 \quad \rho u(x, 0) = 0 \quad h(x, 0) = 2,5 \quad \text{для } x < 0,5$$

$$\rho(x, 0) = 0,125 \quad \rho u(x, 0) = 0 \quad h(x, 0) = 0,25 \quad \text{для } x > 0,5$$

Здесь  $\rho$  – плотность;  $u$  – скорость;  $h$  – удельная энтальпия;  $\gamma$  – показатель адиабаты.

Сравнение результатов численного решения уравнений (9) – (12) для плотности, скорости и давления с аналитическим решением приведены в таблице.

Анализ результатов расчета показал удовлетворительное согласие с имеющимся аналитическим решением.

Таблица. Сопоставление численного и аналитического решения

| $x$        | $\rho$ - | $\rho$ - | $u$ - | $u$ -  | $p$ - | $p$ - |
|------------|----------|----------|-------|--------|-------|-------|
| $T = 0,10$ |          |          |       |        |       |       |
| 0          | 1,0000   | 1,0000   | 0,000 | 0,0000 | 1,000 | 1,000 |
| 0          | 1,0000   | 1,0000   | 0,000 | 0,0000 | 1,000 | 1,000 |
| 0          | 0,8668   | 0,8775   | 0,166 | 0,1527 | 0,818 | 0,832 |
| 0          | 0,4299   | 0,4263   | 0,918 | 0,9275 | 0,307 | 0,303 |
| 0          | 0,2969   | 0,2656   | 0,927 | 0,9275 | 0,302 | 0,303 |
| 0          | 0,1250   | 0,1250   | 0,000 | 0,0000 | 0,100 | 0,100 |
| 0          | 0,1250   | 0,1250   | 0,000 | 0,0000 | 0,100 | 0,100 |



|            |        |        |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,90       | 0,1250 | 0,1250 | 0,0000 | 0,0000 | 0,1000 | 0,1000 |
| $T = 0,20$ |        |        |        |        |        |        |
| 0          | 1,0000 | 1,0000 | 0,000  | 0,0000 | 1,000  | 1,000  |
| 0          | 0,8718 | 0,8775 | 0,160  | 0,1527 | 0,825  | 0,832  |
| 0          | 0,6113 | 0,6029 | 0,554  | 0,5693 | 0,502  | 0,492  |
| 0          | 0,4245 | 0,4263 | 0,931  | 0,9275 | 0,301  | 0,303  |
| 0          | 0,4259 | 0,4263 | 0,927  | 0,9275 | 0,303  | 0,303  |
| 0          | 0,2772 | 0,2656 | 0,927  | 0,9275 | 0,303  | 0,303  |
| 0          | 0,2657 | 0,2656 | 0,927  | 0,9275 | 0,303  | 0,303  |
| 0          | 0,1250 | 0,1250 | 0,000  | 0,0000 | 0,100  | 0,100  |

### Библиографический список

1. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С. Гидродинамические расчеты. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2007.
2. M. Arnold. Numerically stable modular time integration of multiphysical systems. In K.J.Bathe, editor, Proceedings of the First MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics, Cambridge, MA, June 12-15, 2001, pages 1062–1064, 2001.
3. S.L. Campbell and C.W. Gear. The index of general nonlinear DAEs. Numerische Mathematik, 72(2):173, 196, 1995.

*Д.А. Глушаков, Ю.В. Алтухов, Е.В. Зуборев студенты;  
М.М. Тревгода, к.т.н., в.н.с.;  
Рук. Е.Ф. Авдеев к.т.н., доц., И.А. Чусов д.т.н. доц.  
(ИАТЭ, ГНЦ РФ-ФЭИ г. Обнинск)*

## КОНЦЕПЦИИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время в нашей стране наметилась тенденция развития реакторных установок малых и средних мощностей. Это обусловлено целым рядом причин, среди которых следует выделить следующие:

1) для небольших поселков и городов, где нет больших потребителей электрической и тепловой энергии, нет необходимости строить АЭС с серийными реакторами большой мощности; 2) сравнительно малая стоимость сооружения; 3) возможность сделать установку транспортабельной; 4) возможность изготовления установки целиком на заводе и т.д.

В докладе приводится сравнительный анализ различных типов реакторных установок малой и средней мощности с различными типами теплоносителей, конструкций активных зон, ТВС и твэлов. Анализ

охватывает двадцать три проекта реакторных установок различных частных фирм и государственных проектных организаций различных стран.

В настоящем изложении, вследствие недостатка места, приведены описания только двух проектов реакторных установок. Однако они, по мнению авторов, являются наиболее типичными представителями современных реакторных установок малой и средней мощности.

В 1994 г. в НИКИЭТ была выполнена проработка атомной станции малой мощности (АСММ) «УниTERM» (рис.1), предназначенной для тепло- и электроснабжения населенных пунктов в отдаленных районах России. Реакторная установка (РУ) АСММ «УниTERM» представляет новое поколение в развитии ядерной энергетики: интегральную модульную компоновку; конструкцию, препятствующую распространению делящихся материалов; длительный срок службы активной зоны, совпадающий с ресурсом установки; повышенную радиационную и ядерную безопасность, обеспечиваемую внутренне присущими свойствами и пассивностью всех систем.

В соответствии с проработками, для гарантированного обеспечения отсутствия радиоактивности в генерируемом паре в РУ предусматривается трехконтурная система передачи энергии от активной зоны к рабочему телу. Активная зона охлаждается естественно циркулирующим теплоносителем первого контура. Зона обладает отрицательными температурным и мощностным коэффициентами реактивности, что обеспечивает саморегулирование и благотворно сказывается на безопасности. Падение реактивности из-за выгорания и шлакования компенсируется выгорающими поглотителями и температурным эффектом, суммарно составляющими около 1% реактивности в год, что в пересчете на температуру теплоносителя первого контура дает  $\sim 20^{\circ}\text{C}$ .

Реактор и все гидравлически связанные с ним системы заключены в прочноплотный страховочный корпус, полностью локализирующий последствия проектных аварий, вызванных разгерметизацией первого контура.

При срабатывании аварийной защиты активной зоны органы компенсации реактивности вводятся в нее под действием силы тяжести и энергии сжатых пружин. Постоянно действующая автономная система отвода мощности отводит остаточные тепловыделения и расхолаживает установку.

При проектировании принимаются запасы, обеспечивающие с 95% вероятностью при 95% достоверности результатов получение необходимого количества пара требуемых кондиций. Минимизировано количество ситуаций, при которых срабатывает аварийная защита реактора.

Вместе с тем, развитие исходных событий во всех проектных ситуациях не приводит к авариям, а в запроектных случаях службам, ответственным за безопасность, обеспечен достаточный оперативный запас времени (по крайней мере, 72 часа) для вмешательства и выполнения действий по управлению развитием аварий. В таблице приведены основные характеристики реакторного модуля «УниTERM» и энергетического модуля «Hyperion» [1].

Энергетический модуль Hyperion (Hyperion Power Module) имеет активную зону из 24 сборок с керамическим топливом из нитрида урана, который обогащен на 20%, помещенным в трубы с оболочкой из стали НТ-9 (рис. 2).

Вокруг стержней течет жидкий теплоноситель из эвтектики свинец-висмут. В качестве радиального отражателя используется кварц. Газовый объем находится на одном конце стержневых твэлов длиной 2-3 м.

**Таблица. Основные характеристики реакторного модуля «УниTERM» и энергетического модуля «Hyperion»**

| Характеристики  | «УниTERM»                         | «Hyperion»         |
|---|-----------------------------------|--------------------|
| Тепловая мощность, МВт  | 20                                | 70                 |
| Электрическая мощность, МВт   | 2,5                               | 25                 |
| Теплоноситель; давление, МПа  | вода; 16,5                        | свинец-висмут 0,15 |
| Циркуляция теплоносителя  | естественная                      | принудительная     |
| Температура на выходе из активной зоны, °С                                  | 330                               | 500                |
| Число контуров реакторной установки   | три                               | три                |
| Параметры пара МПа, °С  | 1,352, 322,5                      |                    |
| Кампания, лет   | 20 - 25                           | 7 - 10             |
| Принятое число часов использования установленной мощности, ч./год (КИУМ, %) | 6132 (70%)                        | 5980 (76%)         |
| Годовая выработка энергии, млн. кВт.ч.                                      | 128,8                             |                    |
| Годовой отпуск электроэнергии, млн. кВт.ч.                                  | 115,92                            |                    |
| Топливо   | UO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub> | нитрида урана      |
| Обогащение  | 19,75%                            | < 20%              |

Два набора управляющих стержней из карбида бора держат реактивность активной зоны под контролем. Один набор из 12 регулирую-

щих, второй набор из шести стержней останова близко к центру реактора автоматически опускается в активную зону в случае аварии.

Центр активной зоны пустой. В это пустотное пространство опускаются шарики из карбида бора в случае аварийной ситуации.

Горячий (500°C) теплоноситель переносит тепло от активной зоны через промежуточный теплообменник к другой петле со свинцом-висмутом, через другой промежуточный теплообменник к третьему контуру с водой. Реактор предназначен не только для того, чтобы давать электроэнергию, но также и технологическое тепло. Конфигурации второго и третьего контура, по заявлению конструкторов, будут зависеть от применений реактора.

Построенный на заводе и герметизированный на заводе реактор, который весит 50 тонн, работает как батарея: он вставляется на место в энергетической установке, подсоединяется и генерирует энергию. Затем он отключается и остается для остывания в течение двух лет, прежде чем быть удаленным и возвращенным на завод для демонтажа. Один из ключевых критериев конструкции изделия - то, что энергетический модуль Nuregion должен вписаться в существующий транспортный контейнер отработавшего топлива, имеющий сертификат Комиссии по ядерному урегулированию (Nuclear Regulatory Commission - NRC).

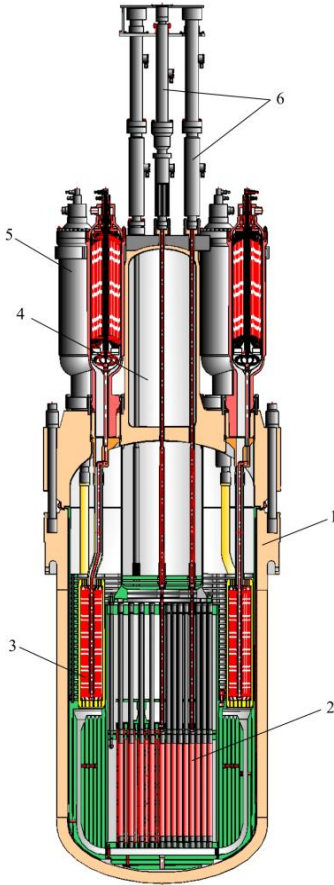


Рис.1. РУ «УниTERM» (Россия, НИКИЭТ); 1 - корпус; 2 - активная зона; 3 - теплообменник промежуточного контура; 4 - компенсатор давления; 5 - парогенератор; 6 - приводы органов регулирования и аварийной защиты



Рис.2. РУ «Hyperion» (USA, Hyperion Power Generation, Inc., Denver);

(Hyperion Power Module)

Реактор малой мощности. Теплоноситель – свинец-висмут. Топливо – нитрид урана. Управляющие стержни - В4С.

### Библиографический список

1. **Status** of Fast Reactor Research and Technology Development (IAEA-TECDOC-1691).

*Сметанин А.В., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
МАСЛОАППАРАТНОЙ ОГНЕСТОЙКОГО МАСЛА  
ЭНЕРГОБЛОКА №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС КАК  
ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Маслоаппаратная 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; контур грязного масла. Каждый контур имеет свою отдельную схему и оборудование, за исключением сепаратора, который является общим для двух контуров [1].

Контур чистого масла включает в себя: фильтр сетчатый Ду-100 OUT10N01; насосы приема и подачи масла в машзал Ш40-6-18/4, OUT10D01, OUT30D01; два фильтр-пресса ФИ 2-3000 OUT20D01(D02); два оперативных бака чистого масла, емкостью 10м<sup>3</sup> (OVT20B01,02) каждый; два бака запаса чистого масла емкостью по 200м<sup>3</sup> каждый.

Контур грязного масла включает в себя: насос дренажного бака (НДБ) Ш8-25-5,8/2,5 (OUT80D01); два фильтр-пресса грязного масла ФП-2-3000 (OUT50D01,02); два ватных фильтра объемом по 100кг каждый (OUT60N01,N02); сепаратор OCT-3 (OUT50D03); бак запаса регенерированного масла емкостью 200м<sup>3</sup> (OUT70B01); два оперативных бака грязного масла емкостью 10м<sup>3</sup> OUT50B01,02; бак сбора грязного масла емкостью 200м<sup>3</sup> OUT40B01; бак сбора дренажей огнестойкого масла емкостью 15м<sup>3</sup>(OUT80B01); бак аварийного слива масла емкостью 15м<sup>3</sup> (OUT80B02).

Фильтр сетчатый OUT10N01 (Ду-100) на всасе насоса приема масла и предназначен для очистки от механических примесей масла, поступающего на всас насоса приема масла из цистерны.

Насосы приема и подачи масла в машзал OUT10D01, OUT30D01 предназначены для откачки масла из цистерны и подачи

его в оперативные баки или баки запаса чистого масла (на склад), а также в маслбак турбины из баков чистого масла.

Фильтр-пресс чистого масла OUN20D01, D02 предназначен для отделения нерастворимых примесей посредством пропускания (продавливания) его через пористую фильтрующую среду (ткань «бельтинг»). Фильтрация масла с помощью фильтр-пресса должна обычно сочетаться с очисткой его в сепараторе.

Баки запаса чистого масла OUN10B01, OUN30B01 предназначены для приемки свежего масла из цистерны и создания запаса масла равного 15% емкости системы смазки.

Оперативные баки чистого масла OUN20B01(02) предназначены для хранения очищенного чистого масла и создания запаса масла для оперативных доливок масла в маслосистему турбоагрегата.

Насос дренажного бака (OUT80D01) предназначен: для откачки масла из бака грязного масла (OUT40B01) и подачи его в цистерну «грязного» масла; для откачки масла находящегося в баках аварийного слива масла (OUT80B01) и подачи его на сепаратор, ватные фильтры и далее после очистки (регенерации) в бак регенерированного масла OUT70B01; для откачки масла из дренажных прямиков и подачи его в бак сбора грязного масла OUT40B01.

Фильтр-пресс грязного масла (OUT50D01,02) и ватные фильтры (OUT60N01,N02) предназначены для очистки грязного масла от механических примесей.

Сепаратор (OUT50D03) предназначен для отделения взвешенных частиц и воды от масла под действием центробежных сил, возникающих в барабане сепаратора, вращающегося с высокой скоростью. Очистку масла способом осветления применяют для отделения твердых механических примесей, шлама, а также воды, содержащейся в масле в столь незначительном количестве, что непосредственно ее удаления не требуется. В этом случае отделяемые от масла примеси остаются в грязевике барабана, откуда периодически удаляются. Удаление из масла загрязнений способом очистки применяют в тех случаях, когда масло значительно обводнено и представляет собой, в сущности, смесь двух жидкостей с разными плотностями. В этом случае и вода, и масло выводятся из сепаратора непрерывно. Переход от одного способа сепарации к другому требует переборки барабана и отводящих маслопроводов.

Бак регенерированного масла предназначается для хранения регенерированного масла.

Кроме указанного оборудования в схеме маслоаппаратной предусмотрены: дренажи для опорожнения баков и маслопроводов; паровые

спутники маслопроводов для подогрева масла в маслопроводах в зимнее время; маслопроводы для приемки свежего масла из передвижной емкости с помощью насоса приема масла; маслопровод для возможности откачки грязного масла из дренажных приемков в цистерну грязного масла, а также откачки масла из оперативных баков грязного масла в бак сбора грязного масла; подача сжатого воздуха в бак аварийного слива масла на барботаж, с целью взрыхления осадков масла в баке. Кроме того, предусмотрен подвод сжатого воздуха в маслоаппаратную для продувки маслопроводов подачи масла в машзал; воздушники-фильтры силикагелевые, установленные на всех баках маслоаппаратной с целью предотвращения попадания влаги в маслобаки, а также для удаления воздуха из баков при заполнении; штуцера с вентилями для подсоединения ручного насоса с помощью шлангов откачки остатков масла из БЗЧМ, БРМ, БСБМ.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока №3. 03.СC.ПЭ. 0034.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы технологической системы маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока №3. 03.СC.ЭС.0006.44; 03.СC.ЭС.0028.44 . Калининская АЭС.

*Сметанин А.В., студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАСЛОАППАРАТНОЙ БЛОЧНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ЭНЕРГОБЛОКА №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Маслоаппаратная береговой насосной станции (БНС) предназначена для приема чистого масла из цистерны в бак запаса чистого масла, подачи масла из бака запаса чистого масла в маслованны циркуляционных насосов (ЦН 1-4 (VC10D01-04)) и насосов техни-



ческой воды неотвественных потребителей (НТВН (VB20D01,02)), сбора и подачи его в бак отработанного масла и откачки в автоцистерну. Бак запаса чистого масла OUR10B02 ( $V=2,5 \text{ м}^3$ ) предназначен для приемки свежего масла из цистерны и создания запаса масла, равного 20% емкости системы смазки. Бак отработанного масла OUR10B01 ( $V=2,5 \text{ м}^3$ ) предназначен для приемки отработанного масла из маслованн насосов или создания запаса масла, равного 20% емкости системы смазки. Насос перекачки чистого масла (OUR10D02) предназначен для подачи чистого масла из бака UR10B02 (или UR10B01, через объединяющую линию) в маслованн ЦН 1-4 или НТВН. Насос перекачки отработанного масла (OUR10D01) предназначен для откачки масла из бака UR10B01 (или UR10B02, через объединяющую линию) в автоцистерну. Для опробования насоса и для регулирования давления в напорной линии при заполнении маслованн смонтирована рециркуляция насоса OUR10D02.

Основные технические характеристики маслонасосов БНС [1]:

1. Тип маслонасоса – Ш 5-25-3,6/14Б1;
2. Производительность –  $3.6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
3. Напор – 0,4 МПа;
4. Мощность – 0,4 кВт;
5. Вес насоса – 19 кг;
6. Частота вращения ротора – 1430 об/мин.;
7. Напряжение электропитания – 380 В.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### 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.

*М.Б. Виноградов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
**РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЕ ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ ТРУБОК  
КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИНЫ К-1000-60/3000**

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы шариковой очистки трубок конденсаторов турбины К-1000-60/3000 (система ВС). 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 ВС, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Ситовая установка, вмонтированная в выходной трубопровод охлаждающей воды, отделяет очищающие шарики от потока циркуляционной воды. Расположенный снаружи подшипниковый узел сита, снабженный механическим приводом, позволяет устанавливать сита в одно из положений, необходимое для заданного режима. Положение А: “ЭКСПЛУАТАЦИЯ”, когда сита перекрывают корпус ситовой установки поперек и отделяют циркулирующие шарики от потока охлаждающей воды. Положение Б: “ПРОМЫВКА”, когда через сита обратным ходом протекает охлаждающая вода, смывая накопившиеся на них загрязнения. В положении “ПРОМЫВКА” циркуляции шариков не происходит.

Система измерений разности давлений (система dp) путем непрерывного измерения разности давлений (dp) контролирует количество загрязнений, скопившихся на ситовой установке, и имеет две уставки: при достижении уставки 1 (65 мбар) СШО автоматически переводит шлюз загрузки-выгрузки шариков в положение “УЛАВЛИВАНИЕ”. По окончании заданного времени улавливания ситовая установка переводится в положение “ПРОМЫВКА” и промывается в течение 15 минут, а затем возвращается в режим очистки трубок; при достижении уставки 2 (80 мбар) автоматика начинает немедленную промывку ситового устройства, чтобы предотвратить его повреждение. При этом СШО отключается, на МЦУ загорается сигнал “АВАРИЯ”, и возвращения в режим очистки трубок не происходит.

Устройство возврата шариков включает в себя все компоненты для транспортировки, улавливания, замены очищающих шариков, насосного агрегата и шлюза для шариков. Насос отсасывает очищающие

шарики из ситовой установки вместе с определенным количеством воды и транспортирует их к устройствам ввода шариков (впрыскам). Шлюз для шариков позволяет производить загрузку шариков, улавливание их в процессе работы СШО и выемку отработавших шариков.

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

#### **Библиографический список**

1. **Инструкция** по эксплуатации системы шариковой очистки трубок конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.ВС.ПЭ.0039.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы шариковой очистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.ВС.ЭС.0011.48. Калининская АЭС.

*М.Б. Виноградов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доцент*

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРЕДОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИНЫ К-1000-60/3000**

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию технологической системы предочистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000 (система ВС). 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 ВС, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Фильтры предочистки смонтированы непосредственно перед конденсаторами и непрерывно удаляют все макрозагрязнения из охлаждающей воды, которые в противном случае засорили бы трубные доски и трубки конденсаторов. Внутренняя поверхность корпуса фильтра гуммированная, для защиты от коррозии.

Фильтрующий элемент фильтра образован 12 фильтрокамерами, состоящими из сетки, изготовленной из нержавеющей стали, с отверстиями диаметром шесть миллиметров, выполненной в форме тупых полукруглей, что обеспечивает высокую жёсткость. Сегменты устанавливаются в стальных листах, которые ограничивают и образуют фильтрокамеры, и в нижней своей части имеют резиновые уплотняющие полосы, контактирующие с элементами колпака ротора обратной промывки. Колпак ротора обратной промывки имеет размеры одного сегмента и при своем вращении последовательно перекрывает один сегмент за другим.

Сегменты фильтра очищаются в процессе обратной промывки посредством самой охлаждающей воды. Как только одна из фильтрующих камер перекрывается колпаком ротора, вода, прошедшая фильтр, смывает грязь в “РОТОР” и через трубопровод сброса мусора и открытый клапан сброса мусора удаляет загрязнения с сеток сегментов фильтра в сливной циркуляционный канал на выход охлаждающей воды из конденсаторов. Это происходит за счет перепада давления циркуляционной воды на входе в конденсаторы и на выходе из них.

Процесс промывки осуществляется в автоматическом режиме по импульсу от датчика перепада давления и при воздействии на соответствующие кнопки и ключи с контрольной панели управления. Один цикл обратной промывки длится 50 секунд, за это время ротор обратной промывки совершает 5 полных оборотов, при этом пропускная способность фильтра полностью восстанавливается.

Фильтр удаляет очень большие объемы загрязнений - от 13 до 32 м<sup>3</sup>/ч при расходе воды на промывку от 3% до 8% от общего расхода охлаждающей воды через фильтр на конденсатор.

Система измерения перепада давления на фильтре постоянно контролирует степень загрязнения фильтрующих элементов. При увеличении загрязнения сегментов фильтра повышается перепад давления, и при достижении перепада 140 миллибар фильтр должен быть промыт обратным ходом в режиме автоматики или дистанционно с контрольной панели.

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

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации системы предочистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000. 03.УС.ПЭ.0038.44. Калининская АЭС.

2. Эксплуатационные схемы трубопроводов циркуляционной воды. 03.УС.ЭС.0011.44. Калининская АЭС.

*М.А. Вольман, асп.; рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф.*

**КОМПЛЕКС ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ И  
ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ СИМУЛЯЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЛОКА АЭС  
С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

Важным фактором, гарантирующим безопасную и надежную эксплуатацию сложных технологических объектов и производств, является высокий уровень подготовки персонала. Для эффективного решения этой проблемы для атомных станций необходимо внедрение в вузовскую подготовку будущего оперативного персонала компьютерных тренажеров. Но для того, чтобы работа студентов с тренажерами-имитаторами была максимально результативной важна теоретическая подготовка, формирующая понимание физических процессов, происходящих в оборудовании ядерного энергоблока. Для этого могут быть использованы численные эксперименты на основе математической модели, позволяющие количественно исследовать ряд важных для теории и практики нейтронно-физических процессов в ядерном реакторе.

Следующей стадией подготовки является овладение техникой физического эксперимента, что является одной из основных задач при подготовке специалистов их эксплуатирующих. Перспективным направлением в связи с этим представляется разработка обучающих модулей, которые в качестве объекта исследования используют не сам реактор, а его математическую модель, реализованную в том или ином компьютерном тренажере. Функционально-аналитический тренажер (ФАТ) является электронной моделью энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320), реализованной на персональном компьютере в программной среде ZKeyMaster. В основе ФАТ лежит математическое моделирование нейтронно-физических, тепломеханических, теплофизических и других процессов, и, как следствие, построение модели функционирования энергоблока в различных режимах. Широкие возможности ФАТ позволяют проводить эксперименты над активной зоной, моделировать различного рода штатные и аварийные ситуации. Мобильность и удобство при работе на персональном компьютере позволяют эффективно использовать ФАТ в учебном процессе. Руко-

водящий документ «Типовые программы и методики проведения физических экспериментов на энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000» [1, 2] устанавливает объем, методики и порядок проведения физических экспериментов (алгоритмы выполнения операций) с целью определения нейтронно-физических характеристик ядерного энергетического реактора, требования к исходному состоянию реакторной установки (РУ) перед началом конкретного эксперимента, технические ограничения и меры по обеспечению ядерной безопасности, действия персонала в случае изменения состояния РУ, необходимого для проведения работ, а также критерии успешности и контроль правильности выполнения экспериментальных исследований. На основе этих документов разработаны методики проведения и обработки реакторных измерений на ФАТ, применение которых в учебном процессе позволяет решить выше обозначенные проблемы подготовки, а также дает возможность систематизировать знания из различных дисциплин, касающиеся работы основного оборудования энергоблока и принципов управления им.

#### 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.
2. **Типовые** программы и методики проведения физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000: Руководящий документ РД ЭО 0150-2004 / Концерн «Росэнергоатом». – М., 2005. – 273 с.

*М.А. Спорышев, студ.; рук. М.А. Вольман, ассистент*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПЕРВОГО КОНТУРА  
ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

В настоящее время 18% электроэнергии, вырабатываемой в России, производится на атомных электрических станциях, идет активное строительство и ввод в эксплуатацию новых энергоблоков. В связи с этим имеется потребность в детальном изучении различных систем и вспомогательного оборудования АЭС. Наиболее распространенными в России являются водо-водяные ядерные реакторы, поэтому именно его системы представляют наибольший интерес для изучения, в частности система компенсации давления.

Учитывая быстрое развитие информационных технологий, актуальной становится задача использование их для изучения систем энергоблоков. Одним из таких программных пакетов является ZKEYMASTER™, созданный компанией Western Services Corporation. Инструменты моделирования, лежащие в основе данного продукта, построены на принципах объектно-ориентированной технологии и открытой архитектуры. Они были оценены и одобрены ведущими инженеринговыми компаниями и уже внедрены в их инженерную практику, включая проектирование, испытания и поставки продукции.

В связи с этим в данной работе были поставлены и решены следующие задачи:

- изучение оборудования и режимов работы выбранной системы;
- изучение инструментов и способов моделирования в среде ZKEYMASTER™;
- создание виртуальной модели выбранной системы энергоблока с реактором ВВЭР-1000 с использованием математических моделей и программных комплексов;
- отладка работы смоделированной системы во всех ее технологических режимах;
- обеспечение возможности последующего использования модели в учебном процессе как инструмента формирования у студентов всех необходимых знаний об объекте моделирования.

Модель системы компенсации давления дает возможность детального изучения работы воссоздаваемой системы, принципов функционирования входящего в ее состав оборудования. Модель в работе представлена на рисунке 1.

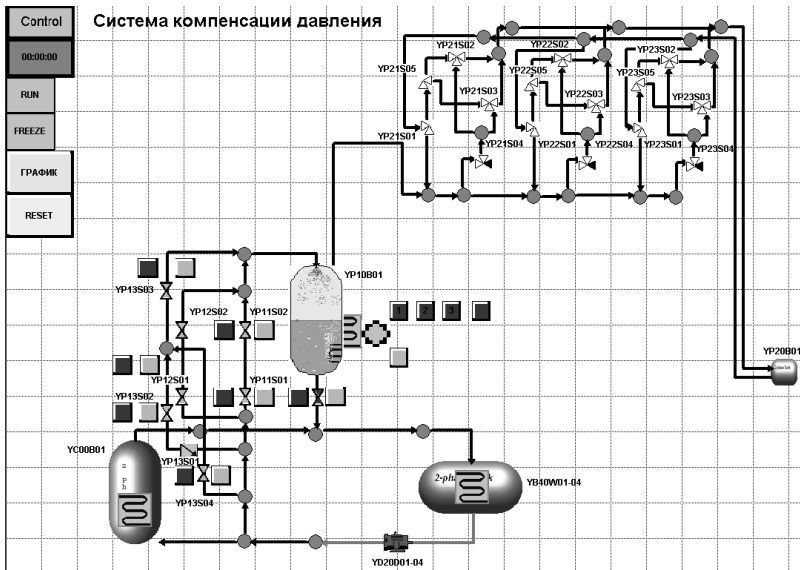


Рис. 1. Модель системы УР в работе

*М.М. Узрюмов, студ.; рук. М.А. Вольман, ассистент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРОДУВКИ-ПОДПИТКИ ПЕРВОГО КОНТУРА ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000**

В настоящее время в связи с быстрым развитием информационных технологий актуальной становится задача их широкого внедрения в учебный процесс. В свою очередь, важным элементом подготовки специалистов для эксплуатации ядерных энергоустановок является изучение ими различных систем и вспомогательного оборудования. Цель проекта – создание виртуальной модели одного из элементов энергоблока с реактором ВВЭР-1000, а именно системы подпитки-продувки первого контура. Данная система предназначена для изменения концентрации поглотителя нейтронов в теплоносителе первого контура с целью регулирования реактивности при изменениях нагрузки, пусках и остановках реактора, а так же для поддержания требуемого качества теплоносителя во всех нормальных режимах работы блока. Ее принципиальная схема представлена на рисунке 1.



Модель дает возможность детального изучения работы воссоздаваемой системы, принципов функционирования входящего в ее состав оборудования. Для достижения поставленной цели использовался инструмент компьютерного моделирования ЗКЕУМАСТЕР.

Платформа моделирования ЗКЕУМАСТЕР – многоцелевая среда для разработки, отладки, исполнения, тестирования, интеграции и конечной эксплуатации созданных моделей. Данная платформа выполнена в виде единого и удобного для пользователя программного пакета, доступ к которому осуществляется через графическую станцию разработчика

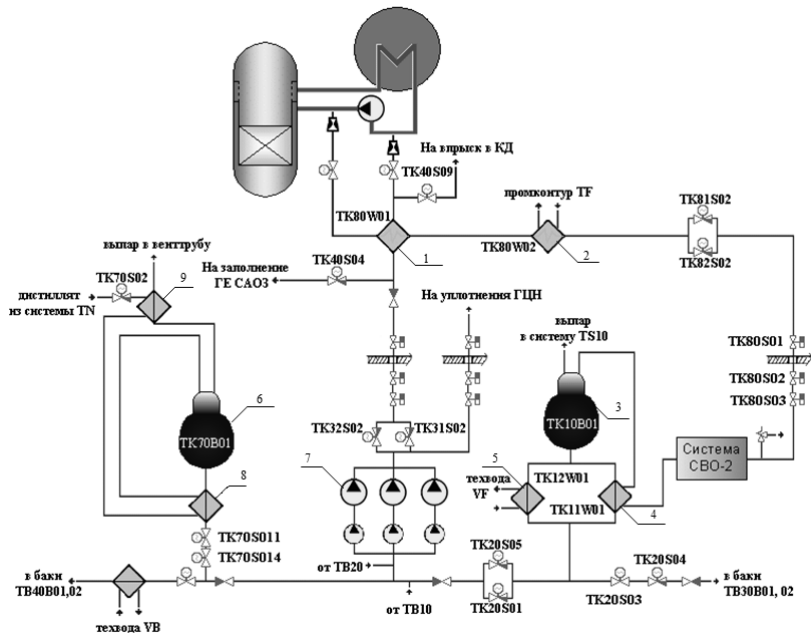


Рис. 1. Принципиальная схема системы подпитки-продукви:

1 – регенеративный теплообменник продукви; 2 – доохладитель продукви; 3 – деаэрактор подпитки; 4 – охладитель подпиточной воды; 5 – доохладитель подпиточной воды; 6 – деаэрактор борного регулирования; 7 – подпиточные агрегаты; 8 – охладитель дистиллята; 9 – охладитель выпара

Благодаря ЗКЕУМАСТЕР можно разрабатывать новые модели различных систем в теплоэнергетике, воссоздавать реально существующие элементы для изучения и понимания особенностей их исполне-

ния. Возможно моделирование в реальном или ином масштабе времени.

Моделирование системы подпитки-продувки первого контура производилось с помощью инструментов ZKEYMASTER, которые представляют собой набор объектно-ориентированных графических инструментов, со встроенными алгоритмами числовых решений. Они позволили воссоздать основные элементы системы, такие как трубопроводы, насосы, баки объемов, арматура, регенеративные теплообменники.

Виртуальная модель проста и наглядна, но, в то же время, содержит всю необходимую информацию о системе, достоверно повторяет ее поведение во всех режимах, что позволяет использовать ее в учебном процессе.

Работа с виртуальной моделью и самим инструментарием позволяет овладеть такими навыками, как:

- проведение физических экспериментов на различных этапах работы энергоблока;
- умение использовать математические модели и программные комплексы для численного анализа всей совокупности процессов в ядерно-энергетическом и тепломеханическом оборудовании станции;
- умение выполнять теплогидравлические и нейтронно-физические расчеты узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств.

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

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АЭС С ВТГР, РАБОТАЮЩИХ ПО БИНАРНОМУ ЦИКЛУ**

Одним из перспективных направлений инновационных ядерных технологий на сегодняшний день является развитие АЭС с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами (ВТГР) с гелиевым теплоносителем. В настоящее время в Российской Федерации разрабатывается международный проект опытно-промышленной установки ГТ-МГР модульной компоновки, состоящей из высокотемпературного газоохлаждаемого реактора с гелиевым теплоносителем и газотурбинной установки замкнутого цикла [1]. Установка имеет достаточно высокий электрический КПД (вследствие высокой температуры гелия перед турбиной – 850 °С). С точки зрения обеспечения высоких показателей тепловой экономичности весьма привлекательным выглядит

использование на АЭС с ВТГР комбинированного бинарного цикла [2,3]. В верхней части цикла используется газотурбинный цикл, а в нижней – паротурбинный.

В докладе приведены результаты расчета тепловой схемы энергоблока комбинированной АЭС, включающей в себя высокотемпературный газоохлаждаемый реактор с гелиевым теплоносителем, гелиевую турбину, компрессор, прямоточный парогенератор (ПГ) и паротурбинную установку. Ранее [4] была определена рациональная тепловая схема комбинированной АЭС на базе серийной турбины К – 210 – 12,8, представленная на рис. 1. Расчеты тепловой экономичности энергоблока проводились как для вышеописанной тепловой схемы ПТУ, так и для типовой схемы со штатной системой регенеративного подогрева. При расчетах расход гелия через реактор и температура на выходе из него принимались постоянными и равными 269,6 кг/с и 1000 °С, соответственно. Поэтому разные варианты энергоустановки комбинированного цикла отличались тепловой мощностью реактора. Значения внутренних относительных КПД гелиевой турбины и компрессора в расчетах были приняты равными 85,7 % и 83%. Результаты расчетов показали, что наиболее высокую тепловую экономичность из рассмотренных имеет вариант с полным замещением регенеративного подогрева турбоустановки на ГВП без использования конечного охладителя в газотурбинном цикле. При тепловой мощности реактора, равной 667 МВт, суммарная электрическая мощность энергоблока достигает 286,7 МВт. При этом КПД по выработке электроэнергии соответственно равен 43 %.

Но, в то же время, исключение регенеративного подогрева из тепловой схемы турбоустановки ухудшает тепловую экономичность ПТУ, а регенерация в газовом тракте при этих условиях не может быть реализована из-за низкого уровня температур гелия после парогенератора.

Для того, чтобы ввести регенерацию в газовый тракт и при этом сохранить регенеративный подогрев в схеме ПТУ, необходимо значительно уменьшить соотношение между количествами теплоты, подводимой к паротурбинному и газотурбинным циклам, то есть уменьшить мощность ПТУ. Анализ показал, что дополнительное охлаждение гелия перед компрессором технической водой приводит к снижению тепловой экономичности. Это обусловлено тем, что уменьшение мощности, потребляемой компрессором, не компенсирует увеличения потери тепла в холодном источнике (окружающей среде). Поэтому целесообразно вводить дополнительное охлаждение гелия лишь при условии полезного использования отводимой от гелия теплоты (например, для целей теплофикации).

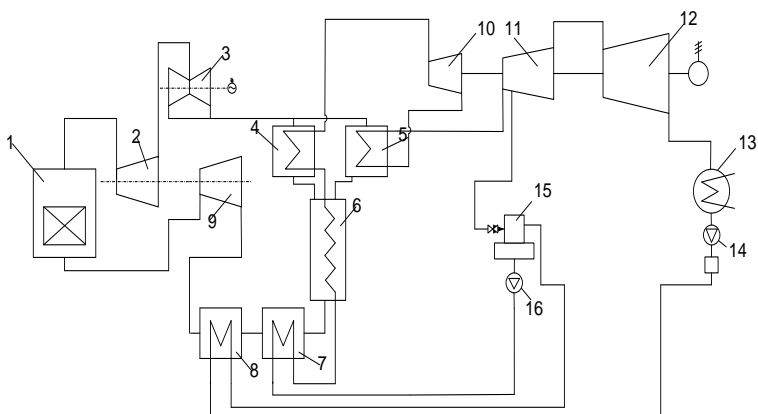


Рис.1. Принципиальная схема комбинированного цикла:

1 – реактор; 2 – приводная турбина; 3 – энергетическая турбина; 4 – основной пароперегреватель; 5 – промежуточный пароперегреватель; 6 – испаритель; 7 – газо-водяной теплообменник высокого давления; 8 – газовойдяной теплообменник низкого давления; 9 – компрессор; 10 – ЦВД; 11 – ЦСД; 12 – ЦНД; 13 – конденсатор; 14 – КЭН; 15 – деаэра-тор; 16 – ПЭН

Также целесообразным может быть применение промежуточного охлаждения гелия в процессе сжатия. Очевидно, что при оптимизации схемы могут быть выявлены дополнительные резервы повышения тепловой экономичности.

В настоящей части работы было проанализировано влияние расхода свежего пара, генерируемого в парогенераторе и направляемого в ПТУ, при постоянном расходе гелия через реактор. Для этого были проведены расчеты показателей экономичности энергоблока (рис. 1) для повышенных значений расхода свежего пара на ПТУ – от 168 кг/с до 230 кг/с. Расход гелия через реактор принимался постоянным и равным 269,6 кг/с. Также неизменной оставалась степень расширения в гелиевой турбине, равная 2,5. Температура перед гелиевой турбины принимались равной 1000°С. В расчета внутренние относительные КПД гелиевой турбины и компрессора принимались соответственно равными 85,8 % и 83 %. Параметры ПТУ принимались равными параметрам турбоустановки К – 210 – 12,8. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Зависимость основных параметров тепловой схемы от расхода пара на турбину**

| Параметр   | Величина |       |       |       |       |       |       |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  |          |       |       |       |       |       |       |
| Тепловая мощность парогенератора, МВт                | 477,4    | 500,1 | 517,8 | 532,2 | 551,3 | 552,9 | 652,2 |
| Тепловая мощность ГВП, МВт                           | 151,4    | 158,6 | 164,0 | 169,4 | 174,8 | 180,2 | 125   |
| Расход свежего пара на ПТУ, кг/с                     | 168      | 176   | 182   | 188   | 194   | 200   | 230   |
| Температура гелия за парогенератором, °С             | 322      | 309   | 295   | 285   | 276,8 | 270   | 199   |
| Минимальный температурный напор в парогенераторе, °С | 46       | 23    | 22,5  | 24,4  | 14    | 14,3  | 20,7  |
| Температура гелия перед компрессором, °С             | 213,3    | 195,6 | 177,7 | 164   | 151,8 | 141   | 109   |
| Температура гелия за компрессором, °С                | 524      | 487   | 465,6 | 443   | 423   | 405,3 | 353   |
| Начальное давление пара перед ПТУ, МПа               | 12,8     | 12,8  | 12,8  | 11,0  | 9,5   | 7,6   | 2,4   |
| Электрическая мощность ПТУ, МВт                      | 258      | 270,4 | 279,5 | 281,3 | 284,8 | 286,3 | 260,0 |
| Механическая мощность компрессора, МВт               | 440,0    | 418,7 | 407,7 | 395,1 | 384,1 | 374,4 | 345,6 |
| Механическая мощность газовой турбины, МВт           | 464,9    | 464,9 | 464,9 | 464,9 | 464,9 | 464,9 | 464,9 |
| Электрическая мощность ГТУ, МВт                      | 27,0     | 45,7  | 56,6  | 69,1  | 79,9  | 89,7  | 118   |
| Электрическая мощность блока, МВт                    | 286,7    | 316,0 | 336,1 | 350,4 | 363,7 | 375,9 | 378,0 |
| Мощность реактора, МВт                               | 666,7    | 720,0 | 749,2 | 780,8 | 808,8 | 833,6 | 907,0 |
| Электрический КПД, %                                 | 43,0     | 43,9  | 44,86 | 44,88 | 44,96 | 45,1  | 41,6  |

Как следует из анализа результатов, при увеличении относительной мощности паротурбинной установки, вследствие более глубокого охлаждения гелия в парогенераторе и ГВП, тепловая экономичность повышается. Однако расчеты показали, что при расходе свежего пара на турбину 188 кг/с и выше для обеспечения положительного значения минимального температурного напора в парогенераторе (его испарителе) необходимо снижение начального давления пара перед ПТУ. Однако, уже при расходе свежего пара 230 кг/с начальное давление становится настолько низким, что промежуточный перегрев становится излишним (с точки зрения не превышения допустимой влажности пара в последних ступенях турбины). Вследствие снижения давления перед турбиной в этих вариантах снижается тепловая экономичность ПТУ, однако это компенсируется уменьшением затрат мощности на привод компрессора (кроме последнего варианта – без промежуточно-

го перегрева). Таким образом, из анализа полученных результатов следует необходимость совместной оптимизации параметров комбинированного цикла – начальных параметров ПТУ и параметров газотурбинной части АС, а также соотношения между расходами рабочих тел в пароводяном и газовом контуре.

Тепловая экономичность может быть повышена также за счет применения многоступенчатого сжатия в компрессоре, а также использования паротурбинного цикла двух и трех давлений. Однако эти решения требуют тщательного обоснования, в том числе и технико-экономического.

#### Библиографический список

1. **Высокотемпературный** газоохлаждаемый реактор – энергоисточник для промышленного производства водорода/ Ф.М. Митенков, Н.Г. Кодочигов, А.В. Васяев// Атомная энергия, 2004, т. 97, вып. 6, с. 432-446.

2. **Ратников Е.Ф.** Эффективность и перспективы применения парогазового цикла для атомных энергетических установок. – в кн.: Новые схемы и циклы в теплоэнергетике. Свердловск, 1971 г.

3. **Гохштейн Д.П.**, Верховкер Г.П. Анализ тепловых схем атомных электростанций. Киев: Вища школа, 1977, 240 с.

4. **Шеберстов, П.С.** Комбинированный цикл АЭС с ВТГР/ П.С. Шеберстов, А.Г. Ильченко// Энергия инновации – 2012. Материалы отчетной конференции молодых ученых ИГЭУ. Т. 2. Иваново: ИГЭУ. 2013, с. 113 – 115.

*П.С. Сальников, студ.; А.Г. Ильченко, к.т.н., доц.*

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС В УСЛОВИЯХ ПОЛНОГО ОБЕСТОЧИВАНИЯ СТАНЦИИ**

Одной из аварийных ситуаций на АЭС с ВВЭР, которые могут привести к повреждению активной зоны ядерного реактора, является режим полного обесточивания АЭС. Главная опасность этого режима обусловлена тем, что в этом случае прекращается электроснабжение систем безопасности АЭС и становится невозможным аварийное охлаждение реактора, что может привести к повреждению активной зоны реактора и выходу радиоактивных веществ за пределы АЭС. Авария в марте 2011 года на АЭС «Фукусима-1» показала это со всей наглядностью.

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения при обесточивании энергоблока на современных АЭС используется система аварийного электроснабжения (САЭ), включающая в себя, в том числе, резервные дизель-генераторы (РДГ), которые вводятся в работу по

программе автоматического ступенчатого пуска (АСП) при исчезновении напряжения на секции надежного питания. Всего предусматривается по три независимых канала в каждой системе САЭ. Но, как показали события на АЭС «Фукусима-1», этого может оказаться недостаточно. Следует отметить, что в целом САЭ системы отечественных энергоблоков с ВВЭР-1000 имеют достаточно высокую надежность.

Как известно [1], в режиме обесточивания на российских АЭС с реакторами ВВЭР-1000 аварийное расхолаживание РУ на первом этапе обеспечивается сбросом пара из ПГ через БРУ-А в атмосферу. При этом подача воды в парогенераторы осуществляется насосами системы аварийного питания парогенераторов (САПВ), электродвигатели которых подключены к системе надежного электроснабжения.

Расчеты показателей надежности систем аварийной питательной воды (САПВ) и аварийного электроснабжения (САЭ) для унифицированного энергоблока с ВВЭР-1000 показали [1], что по системе САПВ наиболее значимыми являются отказы задвижки с электроприводом, аварийного питательного электронасоса (АПЭН), обратного клапана. При этом расчетная вероятность невыполнения функции (ВНФ) канала САПВ получена равной  $Q_{кан}=0,0421$ . Учитывая, что система состоит из трех каналов, то ВНФ системы аварийной питательной воды в целом составит  $Q_{сист}=7,46 \times 10^{-5}$ . Расчетные значения ВНФ для одного канала и системы САЭ в целом получились равными соответственно  $Q_{кан}=0,0353$  и  $Q_{сист}=4,4 \times 10^{-5}$ . Несмотря на высокие показатели надежности систем САПВ и САЭ, в целом, тем не менее существует определенная вероятность того, что в случае отказа в этих системах, подача аварийной питательной воды в парогенератор и отвод тепла от активной зоны реактора прекратятся.

В новых проектах АЭС для повышения уровня безопасности предусматривается применение систем безопасности, работающих по "пассивному" принципу, т.е. без внешних источников энергии. В частности в проектах реакторных установок (РУ) нового поколения ВВЭР-1200, ВВЭР-1500, ВБЭР-300 и др. заложено применение пассивных систем отвода тепла от активной зоны в процессе аварийного расхолаживания [2].

Для действующих АЭС возможности применения пассивных систем аварийного расхолаживания с непрерывным отводом тепла конечному потребителю через воздушные теплообменники-конденсаторы, как это реализовано в реакторах РУ нового поколения, являются весьма ограниченными - в первую очередь из-за требуемого большого объема работ по реконструкции.

Более рациональным представляется применение пассивных систем аварийного расхолаживания, основанных на использовании для подачи питательной воды в парогенераторы энергии пара, сбрасываемых из них при расхолаживании. В этом случае задача проведения расхолаживания РУ в режимах полного обесточивания АЭС с отказом резервных дизель-генераторов системы надежного питания решается весьма просто.

Техническая реализация данного принципа может быть осуществлена разными способами [1,3-5 ]:

- установкой дополнительных электрогенераторов с паротурбинным или газотурбинным приводом, выдающих электроэнергию в систему надежного питания;
- установкой дополнительных насосов подачи питательной воды в парогенераторы с паротурбинным приводом;
- установкой паровых поршневых насосов подачи аварийной питательной воды;
- применением пароводяных инжекторов для подачи воды в парогенераторы.

Вышеперечисленные варианты имеют различную степень надежности и, строго говоря, пассивной является только система подачи воды с помощью пароводяных инжекторов. В отличие от паротурбинного привода и парового поршневого насоса инжектор наиболее прост в эксплуатации, не содержит движущихся частей, сложной системы регулирования и имеет наименьшую вероятность отказа. Относительно серьезным недостатком инжектора является его неустойчивая работа в переменных режимах. Однако, эта проблема может быть решена установкой нескольких групп инжекторов с разными характеристиками.

Можно в заключение резюмировать, что применение дополнительной пассивной системы аварийного расхолаживания существенно уменьшает вероятность разрушения активной зоны реактора в аварийных ситуациях, связанных с полным обесточиванием АЭС. Однако выбор наиболее рационального варианта требует проведения подробного сопоставительного анализа с привлечением вероятностных методов анализа безопасности.

#### Библиографический список

1. **Пассивная** система аварийного питания парогенераторов АЭС с пароводяным инжектором/ А.Г. Ильченко, А.Н. Страхов, Д.Н. Магницкий // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика, 2009, №4, с. 39 – 44.
2. **Атомная** энергетика XXI века/ Б.А. Габарпаев, Ю.Б. Смирнов, Ю.С. Черепнин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 250 с.



3. **Аварийный** режим полного обесточивания АЭС (за рубежом): Обзор/А.С. Пиляев, В.А. Тищенко, В.Д. Виленский. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1988. – 40 с.

4. **Аминов Р.З.** Оценка безопасности АЭС при резервировании собственных нужд газотурбинными установками //Атомная энергия. – 2004. – т. 96, вып. 6. – С. 473–476.

5. **Оценка** снижения риска крупных аварий при комбинировании газотурбинных и газопоршневых установок с АЭС нового поколения / Р.З. Аминов и др. // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. – Саратов: СГУ, 2006. – Вып.4. – С. 6 -14.

*С.В. Груздев, студ.; И.Р Черкашин, студ.;  
рук. В.К. Семенов д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 С ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ ПО ТОПЛИВУ И ТЕПЛОНОСИТЕЛЮ**

Рассмотрим модель ядерного реактора находящегося в критическом состоянии ( $\rho=0$ ) с температурной обратной связью без учета запаздывающих нейтронов. Предположим, что при небольшом изменении реактивности ( $\delta\rho$ ) тепловая мощность остается неизменной. Реактивность изменяется по следующему закону

$$\rho = \delta\rho - \alpha_T T.$$

Здесь  $\rho$  – реактивность,  $\delta\rho$  – изменение реактивности,  $\alpha_T$  – температурный коэффициент реактивности,  $T$  – температура. С учетом этого уравнения кинетики имеют вид:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho}{\tau} N,$$
$$C_p \frac{dT}{dt} = N - N_0.$$

Здесь:  $N$  – нейтронная мощность,  $N_0$  – начальная мощность,  $\tau$  – возраст нейтронов,  $C_p$  – средняя теплоемкость реактора по топливу и теплоносителю,  $t$  – время.

Анализ приведенных уравнений показывает, что при скачке реактивности возрастает мощности реактора. Рост мощности приведет к росту температуры, что вызовет уменьшение реактивности и снижение мощности реактора. Таким образом, мощность изменяется по гармоническому закону с некоторым периодом колебаний. Выполнив математические преобразования можно получить уравнение зависимости  $N(T)[1]$ :

$$\frac{N}{N_0} - 1 - \ln \frac{N}{N_0} = \frac{C_p}{\tau N_0} \left( T \delta \rho - \frac{\alpha T^2}{2} \right).$$

Графическая зависимость  $N(T)$  в теории колебаний называется фазовой диаграммой. Если диаграмма замкнута (рис.1), то система совершает колебания с установившейся амплитудой, если диаграмма разомкнута и сходится к одной точке, то колебания затухающие, если диаграмма расходится, то амплитуда колебаний будет нарастать. С увеличением времени жизни мгновенных нейтронов при тех же изменениях реактивности снижается амплитуда колебаний мощности и фазовая диаграмма принимает более симметричный характер (рис. 1).

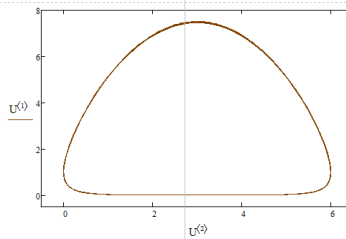


Рис. 1. Фазовая диаграмма при  $\rho=0.003$ ,  $\tau=10^{-4}$  с,  $\alpha=10^{-3}$  1/с

При управлении ядерным реактором следует отслеживать колебания нейтронной мощности, а не тепловой, так как ее изменение происходит в диапазоне больших значений, но за меньший период времени (рис.2).

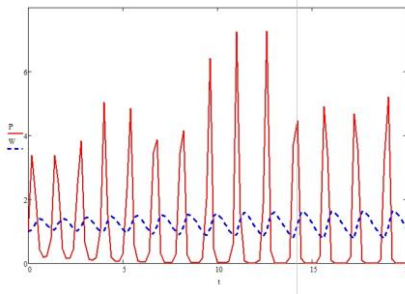


Рис. 2. Зависимость тепловой и нейтронной мощности от времени при  $\delta\rho=0,002$ :

$P$  – нейтронная мощность;  $W$  – тепловая мощность

Итак при введении положительной реактивности, фазовая диаграмма получается разомкнутой и амплитуда колебаний мощности будет нарастать.

#### Библиографический список

1. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. – Иваново, 2009. – 144 с.
2. Ильченко А.Г. Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах. - Иваново, 2000. – 116 с .

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

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУСКА ХОЛОДНОГО РЕАКТОРА**

Кинетика холодного реактора позволяет исследовать пуск реактора. Пуск реактора - это вывод реактора с допустимым периодом разгона из подкритического в надкритическое состояние на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ). МКУ - это тот уровень, который надежно контролируется пусковой аппаратурой. Исходная мощность, с которой начинается пуск реактора, обусловлена как внутренним источником нейтронов - спонтанным делением топлива и делением его фотонейтронами, так и нейтронами постороннего источника.

Для пуска холодного реактора необходимы начальные нейтроны, чтобы осуществить цепной процесс. Эти нейтроны могут быть обусловлены космическим излучением. Другим источником является спонтанное деление урана. Если реактор запускается после останова, то в нем есть уже свободные нейтроны. Их появление обусловлено фотонейтронными источниками и излучением осколков деления. В энергетических реакторах мощность, обусловленная спонтанным делением, составляет порядка  $10^{-7}$ - $10^{-6}$ Вт. Чувствительность пусковой аппаратуры составляет порядка  $10^{-5}$ - $10^{-3}$  % от номинальной мощности. Отсюда видно, что пуск реактора в таких условиях связан с прохождением неконтролируемого пусковой аппаратурой диапазона увеличения мощности (пуск «вслепую»). Сложность такого пуска заключается в том, чтобы установить такую скорость освобождения реактивности, которая обеспечивала бы вывод на МКУ с допустимым периодом разгона  $T > (20-30)$  с. В этих условиях наиболее безопасна и надежна такая скорость ввода реактивности, когда МКУ достигается в подкритическом состоянии, а переход в надкритическое состояние надежно контролируется.

Программа подъема поглотителей предусматривает либо непрерывный ввод реактивности, либо ступенчатый с выдержкой по времени, что является более предпочтительным. В том и другом случае мощность после перехода через критическое состояние должна достигать контролируемого уровня раньше, чем будет высвобождена опасная реактивность.

Сравним непрерывный ввод реактивности со ступенчатым вводом с выдержкой по времени на каждой ступени. При непрерывном вводе реактивности и при переходе из подкритического состояния в надкритическое закон роста мощности во времени меняется от медленного роста до экспоненциального  $\sim \exp(1/T)$ . При неправильно выбранном законе роста реактивности в надкритическое состояние реактор может быть выведен с недопустимо малым периодом разгона. При ступенчатом вводе реактивности с уменьшением шага реактивности и увеличением времени выдержки мощность в надкритическом состоянии успевает увеличиться до более высокого уровня при меньшем значении надкритичности. Этим достигается вывод реактора на МКУ с большим значением периода разгона.

Таким образом, основным условием обеспечения ядерной безопасности при пуске холодного реактора является выведение ЯР в контролируемое надкритическое состояние с допустимым периодом разгона и надежным исключением неуправляемого разгона  $\rho \geq \beta_{эф}$

#### Библиографический список

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

*Д.С. Лукеркина, Д.А. Медников, И.М. Соловьев, студенты;  
рук. В.К.Семенов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕАКТИМЕТРА

Реактивность является одним из важнейших параметров, характеризующих состояние реактора. Реактивностью называется относительное изменение числа нейтронов, рожденных в течение одного поколения.

$$\rho = \frac{N_{i+1} - N_i}{N_i} = \frac{k_{эф} - 1}{k_{эф}}$$

где  $N_i$  - число нейтронов в  $i$ -том поколении;  $N_{i+1}$  - число нейтронов в следующем поколении;  $k_{эф}$  - эффективный коэффициент размножения нейтронов.

Реактивность – мера удаления реактора от критического состояния или приближения к нему. При  $\rho = 0$  реактор находится в критическом состоянии, при  $\rho < 0$  - в подкритическом, при  $\rho > 0$  он надкритичен, а

при  $\rho \geq \beta$  реактор становится неуправляемым и уходит в неуправляемый разгон.

Метод измерения реактивности базируется на модели кинетики реактора с сосредоточенными параметрами с учетом шести групп запаздывающих нейтронов:

$$\begin{aligned} \frac{dn(t)}{dt} &= \frac{\rho - \beta}{\tau} n(t) + \sum \lambda_i C_i(t), \\ \frac{dC_i(t)}{dt} &= \frac{\beta_i}{\tau} n(t) + \sum \lambda_i C_i(t), \end{aligned}$$

где  $n(t)$  – мощность реактора,  $\rho$  – реактивность,  $\beta$  – суммарная доля запаздывающих нейтронов,  $\beta = \sum \beta_i$ ,  $i=1..6$  – номер группы запаздывающих нейтронов,  $t$  – время,  $C_i$  – мощность, вносимая  $i$ -й группой запаздывающих нейтронов.

Решение системы уравнений запишем в виде

$$\frac{\rho(t)}{\beta} = \frac{1}{N(t)\beta} \sum_{j=1}^6 \beta_j \int_0^t \frac{dN(t')}{dt'} \exp[\lambda_j(t' - t)] dt'$$

Зависимость  $N(t)$  можно задавать либо аналитически, аппроксимируя опытную зависимость подходящей аналитической функцией, либо численно, представляя формулу в конечных разностях. С этой целью введем шаг интегрирования по времени  $\Delta t$ , так что  $t_i = i\Delta t$ . Индекс  $i$  – номер интервала, принимает значения от 1 до  $n-1$ .

Имеет место рекуррентная формула

$$I_{j,i+1} = I_{j,i} \exp(-\lambda_j \Delta t) + \frac{N_{i+1} - N_i}{\lambda_j \Delta t} [1 - \exp(-\lambda_j \Delta t)]$$

Индекс  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ , а  $i$  – индекс интервала по времени,  $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ , где  $n$  – число интервалов,  $N_i = N(i\Delta t)$ .

Подставляя рекуррентное соотношение в решение системы уравнений, получим

$$\frac{C_i}{\beta} = \frac{1}{\beta N_{i+1}} \sum_{j=1}^6 \beta_j I_{j,i+1}$$

Решим полученные уравнения 2 способами: численно и аппроксимируя опытную зависимость.

Анализируя полученные зависимости, можно сказать, что оба решения имеют высокий класс точности и пригодны как для использования в процессе обучения, так и для моделирования реальных ситуаций.

рук. В.К. Семенов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУПП ОР СУЗ И КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОСТИ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В РЕАКТОРЕ НА МКУ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА

Целью данной научной работы является определение интегральной и дифференциальной эффективности групп ОР СУЗ и коэффициента реактивности по концентрации борной кислоты в реакторе на МКУ.

МКУ характеризуется минимальной мощностью реактора, при котором измерительная аппаратура способна «чувствовать» изменение тех или иных параметров.

Определение эффективности и коэффициентов выполнено на основании расчетов и симуляции реакторных измерений на функциональном аналитическом тренажере.

Экспериментальные исследования с целью определения эффективности группы ОР СУЗ проводятся при постоянных температуре теплоносителя и давлении в первом контуре. Отравление реактора ксеноном-135 отсутствует. Мощность реактора поддерживается на уровне  $N = 1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2} \% N_{\text{ном}}$ . Погружение группы ОР СУЗ производится в процессе снижения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура. Вводимая в активную зону при выводе борной кислоты положительная реактивность  $|\rho| < 0,1 \beta_{\text{эф}}$ , с целью поддержания реактора в околоскритическом состоянии, компенсируется периодическим (шагами по (6 – 18) см) перемещением вниз группы ОР СУЗ.

Коэффициент реактивности по концентрации борной кислоты в реакторе определяется по величине реактивности, скомпенсированной перемещением группы ОР СУЗ, и изменению концентрации борной кислоты в реакторе между двумя состояниями её стабилизации:

$$\partial \rho / \partial C = \Delta \rho_{\text{СУЗ}} / \Delta C_{\text{БК}}; T_{\text{АЗ}}, P_1 = \text{const} . \quad (1)$$

Здесь  $\Delta \rho_{\text{СУЗ}}$  – величина реактивности, скомпенсированная изменением положения группы ОР СУЗ при изменении концентрации борной кислоты в реакторе на величину  $\Delta C_{\text{БК}}$ .

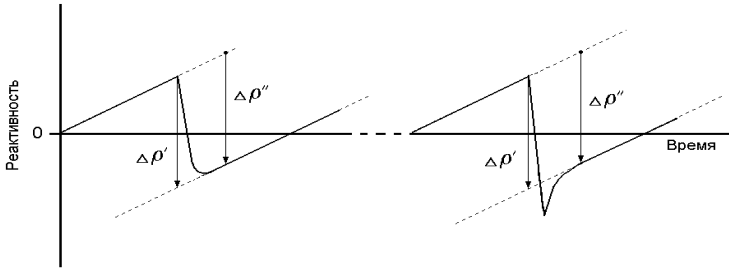


Рис. 1. Типовая зависимость изменения во времени реактивности, регистрируемой в процессе экспериментального определения интегральной и дифференциальной эффективности группы ОР СУЗ на МКУ мощности

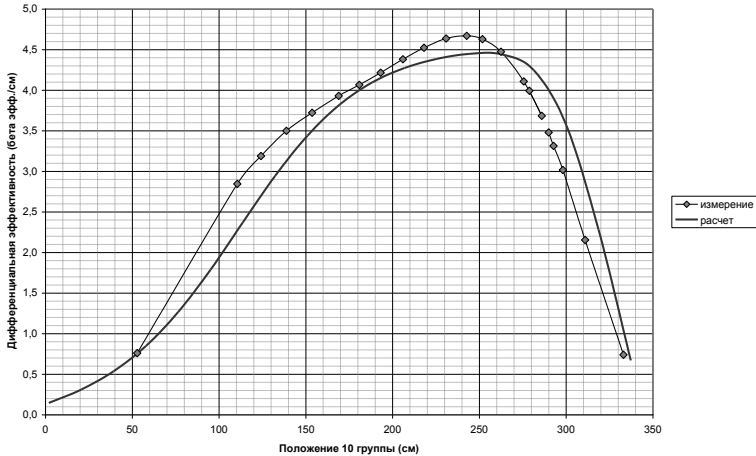


Рис. 2. Диаграмма зависимости дифференциальной эффективности 10 группы ОР СУЗ при ее извлечении из активной зоны

Концентрация борной кислоты в реакторе определяется с помощью химического анализа проб теплоносителя из реактора, а также по данным НАР.

Величина коэффициента реактивности зависит от положения в активной зоне ОР СУЗ. Однако эта зависимость незначительна в пределах погрешности экспериментального определения  $\delta\rho/\delta C$ .

Полученные графики свидетельствуют о неравномерности дифференциальной эффективности ОР СУЗ в зависимости от их положения. Найденные значения используются для контроля работы реактора в различных мощностных режимах.

### Библиографический список

1. **Руководящий** документ методики расчета нейтронно-физических характеристик по данным физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. (Разработчики: Терешонок В. А., Кряквин Л. В., Степанов В. С., Ивченков В. В., Питилимов В. А.)

2. **Семенов В.К.** Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2009. – 144 с.

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

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РАСХОЛАЖИВАНИЯ ЭНЕРГООБЛОКА ВВЭР-1000 С ПТУ К-1000-60/3000 ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНДЕНСАТОР (ТК)**

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию системы расхолаживания энергоблока ВВЭР-1000 с ПТУ К-1000-60/3000 через технологический конденсатор. 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 первоисточника [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 данной системы, а также ее эксплуатация в основных нормальных режимах работы, а именно: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Система технологического конденсатора предназначена для проведения расхолаживания энергоблока в режиме планового или аварийного останова, а также для поддержания блока в состоянии горячего резерва.

При плановом расхолаживании или поддержании блока в горячем резерве отвод тепла от ПГ производится сбросом пара через БРУ-К в конденсаторы турбины. БРУ-К при этом управляются либо регулятором расхолаживания в соответствии с заданной программой, либо дистанционно оперативным персоналом. При запретах по сбросу пара



через БРУ-К в конденсаторы турбины (потеря вакуума, низкое давление на впрыске охлаждающего конденсата, останов ВПУ и др.) используется расхолаживание через ТК. Аварийное расхолаживание сбросом пара из главных паропроводов через БРУ-А в атмосферу проводится в случаях обесточивания блока или в других аварийных ситуациях, налагающих запрет на сброс пара через БРУ-К и БРУ-СН. В режиме расхолаживания или поддержания блока в горячем резерве участвуют следующие системы и оборудование машзала: система главных паропроводов с четырьмя БРУ-К и двумя БРУ-СН; ТК; сбросные трубопроводы, запорная арматура, регулирующие клапаны; вакуумная (конденсационная) система главной турбины; система основного конденсата; деаэрационно-питательная установка; система технической воды группы "В".

ТК представляет собой однокорпусной вертикальный теплообменник с поверхностью теплообмена 633 м<sup>2</sup>, выполненный в виде трубного пучка из нержавеющей стали. Допустимая скорость прогрева и охлаждения стенок конденсатора – не выше 60 °С/ч.

Подвод пара в ТК осуществляется от КСН трубопроводом Ду-800, отвод конденсата – трубопроводом Ду-200 в линию основного конденсата перед Д-7 или в дренажный бак. Расхолаживание или поддержание блока в горячем резерве при использовании ТК осуществляется путем конденсации сбрасываемого из КСН пара в ТК за счет охлаждения его технической водой, подаваемой насосами группы "В". Регулирование расхода пара при расхолаживании производится изменением расхода конденсата регулирующим клапаном, установленным на линии сброса конденсата ТК в Д-7 или в дренажный бак. Управление регулирующим клапаном осуществляется либо дистанционно с БПУ, либо автоматически регулятором расхолаживания блока. При этом за счет изменения уровня поверхность конденсации изменяется (вследствие затопления части труб) в соответствии с заданной программой расхолаживания.

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

#### **Библиографический список**

1. **Инструкция** по эксплуатации системы расхолаживания блока через технологический конденсатор 03.RR.ПЭ.0020.44. Калининская АЭС.

2. Эксплуатационные схемы системы расхолаживания, 03.RR.ЭС.0031. 44. Калининская АЭС.

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

## **РАЗРАБОТКА КОС ПО СИСТЕМЕ ЗАПОРНОЙ, РЕГУЛИРУЮЩЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЭНЕРГОБЛОКА № 3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС**

Разрабатываемая компьютерная обучающая система (КОС) предназначена для получения знаний и умений по функционированию системы запорной, регулирующей и предохранительной арматуры энергоблока № 3 Калининской АЭС. 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 первоисточника [1] и содержит вопросы для самоконтроля, а также раздел контроля знаний с таблицей результатов оценки знаний.

Арматура машзала предназначена для изменения режимов работы оборудования, отключения оборудования для ремонта, регулирования расхода и давления рабочей среды, а также защиты элементов оборудования от превышения давления и обратных потоков среды.

о: подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт.

Арматура, устанавливаемая на трубопроводах, различается по следующим признакам: по способу управления; по функциональному назначению; по способу перекрытия потока рабочей среды; по способу присоединения к оборудованию; по конструктивному способу исполнения; по способу герметизации подвижного соединения шпинделя с крышкой. Арматура, классифицированная по способу управления, подразделяется на: управляемую (вручную или с использованием электропривода); действующую автоматически (обратные и предохранительные клапаны, регуляторы давления, конденсатоотводчики). По функциональному назначению энергетическая арматура разделяется на следующие основные виды: запорную, регулирующую, предохранительную и защитную.

Запорная арматура предназначена для полного перекрытия потока рабочей среды. К запорной арматуре относят пробно-спускную арма-

туру, используемую для проверки уровня жидкой среды в емкостях, отбора проб рабочей среды, для выпуска воздуха из верхних полостей оборудования, а также дренажи. Запорная арматура является арматурой двухпозиционного действия.

Регулирующая арматура служит для изменения расхода рабочей среды посредством изменения степени открытия регулирующего органа. В состав регулирующей арматуры входят: регулирующие клапаны, регулирующие вентили, дроссельные клапаны, предназначенные для значительного снижения давления пара и воды, работающие в условиях больших перепадов давления.

Предохранительная арматура служит для предотвращения аварийного повышения давления в обслуживаемой (защищаемой) системе путем автоматического выпуска избыточного количества рабочей среды. К предохранительной арматуре относятся предохранительные клапаны, импульсные предохранительные и мембранные разрывные устройства. Защитная арматура предназначена для защиты оборудования от аварийных изменений параметра среды (давления, уровня рабочей среды, направления потока) путем отключения защищаемой линии или участка. К защитной арматуре относятся быстродействующие отсечные клапаны, задвижки, а также обратные клапаны. Различие между предохранительной и защитной арматурой заключается в том, что при возникновении аварийного значения параметра среды предохранительная арматура открывается для выпуска среды, а защитная отсекает защищаемый участок от части трубопровода.

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

#### Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации системы запорной, регулирующей и предохранительной арматуры энергоблока №3. 03.--ПЭ. 0023.44. Калининская АЭС.

*А.П. Миронов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
ЭНЕРГОБЛОКА №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС КАК  
ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Система противопожарного водоснабжения (У) предназначена для подачи воды на тушение пожара в главном корпусе (ГК), резервной дизельной электростанции (РДЭС), береговой насосной станции второй очереди (БНС-3), а также лабораторно-бытовом корпусе (ЛБК) в виде компактной струи под давлением через пожарные краны (ПК), пожарные гидранты (ПГ), лафетные стволы (ЛС) или распыленной водой, подаваемой через дренчеры (оросители) специальной установкой автоматического пожаротушения (АПТ) с автоматическим или дистанционным (ручным) пуском.

В систему У входят: три насоса подачи воды на пожаротушение (ПН) У110D01, D02, D03 типа 20А-18х3; два насоса поддержания постоянного давления пожарной воды (ПНПД) У20D01, D02 типа К-90/85; два водовода Ду300 подачи воды от БНС-3 в МЗ, ДО и ЭЭУ; сеть наружного противопожарного водовода; сеть внутреннего противопожарного водопровода МЗ, ДО, ЭЭУ; сеть противопожарного водопровода БНС-3; сеть внутреннего противопожарного водоснабжения РО, ЛБК, РДЭС, СК; установка АПТ с автоматической или дистанционной (ручной) подачей распыленной воды.

Насосные агрегаты У110D01, D02 D03, У20D01, D02 расположены в здании БНС-3. Насос У110D01, D02, D03 артезианского типа марки 20А-18х3 - центробежный, вертикальный, трехступенчатый, с осевым подводом жидкости, предназначен для перекачивания холодной воды с температурой до 35 °С, с содержанием твердых взвешенных частиц не более 0,1 % по весу. Во внутреннюю расточку корпуса насоса в каждой секции запрессованы резино-металлические подшипники, которые являются направляющими подшипниками для вала. Резино-металлические подшипники смазываются водой под давлением, подаваемой по трубке 3/4". Ко всасывающему патрубку насоса прикреплена приемная сетка. В верхней части насоса расположена опорная часть, включающая грундбоксу, сальник, пяту с радиально-упорными подшипниками, воспринимающими вес ротора и осевые усилия, действующие на ротор. Смазка радиально-упорных подшипников циркуляционная, масло подается к подшипникам из маслованны (резервуара) двумя вращающимися лопастями со сверлениями. Охлаждение масла осуществляется водой, подаваемой в камеру охлаждения с напора насоса без арматуры. Предусмотрена подача воды на сальник. Вал насоса и двигатель соединены упругой пальцевой муфтой. Направление вращения вала - левое (против часовой стрелки, если смотреть со

стороны двигателя). По ободу муфты насоса установлен контрреверс для предотвращения обратного вращения. Секции рабочих колес, расположенные в нижней части насоса, соединены с верхней частью трансмиссии, состоящей из трех подузлов: соединительного вала, напорного трубопровода и трубопровода подвода смазывающей воды резино-металлических подшипников. Опорная часть насоса и двигатель расположены над отм.0,0; а насосная часть агрегата, включающая три секции рабочих колес, под уровнем воды: ось всасывающего коллектора на отм.-10,1 м. Даже при минимальном горизонте воды (-5,15 м) все рабочие колеса насоса оказываются под уровнем воды.

Насос UJ20D01, D02 типа К-90/85 - консольный, одноступенчатый, с осевым подводом воды, предназначен для перекачивания воды с температурой до 85 град. Вал насоса опирается на шарикоподшипники, смазываемые консистентной смазкой, подаваемой через прессмасленку. В насосе применено сальниковое уплотнение с хлопчатобумажной набивкой. В верхней части корпуса насоса установлена пробка для выпуска воздуха при заполнении насоса водой, в нижней части пробка для опорожнения при выводе в ремонт. Вращение агрегата - против часовой стрелки, если смотреть со стороны двигателя. Агрегаты расположены на отм.-10,9 м, а ось всасывающего патрубка - на отм.-10,2 м.

Сеть противопожарного водопровода запитана от насосов ПН, ПНПД двумя водоводами Ду300, выходящими из БНС-3. Выполнено резервирование сетей противопожарной воды второй очереди АЭС от сетей первой очереди двумя перемычками Ду300 в районе ПГ-92, с установкой задвижек с ручным приводом.

К наружным сетям противопожарного водопровода подключены ПГ, с установкой разделительных задвижек, которые позволяют выделять ремонтные участки с отключением не более пяти ПГ.

Внутренние сетки МЗ, ДО, ЭЭУ выполнены из расчетного расхода из 2-х струй по 5 л/сек каждая, а также напора воды перед стволом ПК или ЛС 60 м. Внутренние ПК установлены в МЗ на отм.0,0 и отметках обслуживания турбины, в ДО на лестничных клетках до отм.38,4 и у входов в кабельные помещения ЭЭУ до отм.23,4. Подача воды во внутреннюю сеть осуществляется по трем вводам Ду 250 от наружной сети противопожарного водопровода. На кольце противопожарного водовода установлены ремонтные задвижки из расчета отсечения при ремонте не более пяти ПК из 3-х задвижек с электроприводом системы АПТ.

К внутренней сети противопожарного водопровода БНС-3 подключены ПК (6 шт.) и узел АПТ для защиты маслохозяйства БНС-3. К сто-

яку внутренней сети противопожарного водопровода БНС-3 подсоединена линия d 45 x 2,5 с вентилем 3UJ20S11, S12, S13 на отм.0,00. Через эту линию предусмотрен постоянный сброс воды из противопожарного водопровода в количестве 9 л/с - для обеспечения нормальной работы ПНПД типа К-90/85 и поддержания постоянного напора в системе пожаротушения.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерного учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### Библиографический список

1. Инструкция по эксплуатации технологической системы противопожарного водонабжения энергоблока №3. 03.У.П.Э. 0025.44. Калининская АЭС.
2. Эксплуатационные схемы технологической системы противопожарного водонабжения энергоблока №3. 03.У.Э.С.0044.44. Калининская АЭС.

*А.П. Миронов, студ.; рук. Г.В. Булавкин, к.т.н., доц.*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОМКОНТУРА ОХЛАЖДЕНИЯ ОТБОРОВ ПРОБ ЭНЕРГОБЛОКА №3 КАЛИНИНСКОЙ АЭС КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОС**

Реализован начальный этап разработки: назначение, функции, структура и принципиальная схема системы.

Система промконтур охлаждения отборов проб предназначена для обеспечения охлаждения холодильников отбора проб [1].

В состав системы промконтур охлаждения отборов проб входят: компенсационный бак промконтур 3VK10B01 – предназначен для создания подпора насосов промконтур охлаждения проб; охладитель промконтур 3VB92W01 – предназначен для поддержания температуры среды промконтур охлаждения проб в допустимых пределах; три насоса промконтур 3VK21,22,23D01, предназначенные для подачи охлаждающей среды к холодильникам отбора проб; КИП, средства автоматики и дистанционного управления, предназначенные для контроля за работой системы; трубопроводы, связывающие оборудование системы, и арматура, предназначенная для выполнения необходимых

переключений, как во время работы системы, так и при ее ремонте.

Охладитель промконтура представляет собой кожухотрубный теплообменник вертикального типа, основными узлами которого являются: корпус, трубная система и верхняя водяная камера. Корпус охладителя состоит из цилиндрической обечайки, к нижней части которой приварено штампованное эллиптическое днище, а к верхней части – фланец, для соединения с трубной системой и водяной камерой. В верхней части корпуса расположены патрубки подвода и отвода охлаждающей воды, а в днище – патрубок слива охлаждаемой воды. Для установки охладителя в рабочее положение к корпусу приварены две опоры. Трубная система состоит из трубной доски, каркаса и теплообменных трубок U-образной формы. Каркас и теплообменные трубки заключены в металлический кожух, закрепленный на трубной доске с помощью болтов. Продольная и поперечная перегородки, установленные внутри кожуха, направляют поток охлаждаемой воды. Поперечные перегородки одновременно служат промежуточными опорами для теплообменных трубок, концы которых развальцованы в отверстиях трубной доски. В верхней части кожуха и продольной перегородки предусмотрены отверстия для прохода охлаждаемой воды. Для предохранения трубной системы от разрушающего действия водяного потока на корпусе кожуха приваривается отбойный щит. Водяная камера состоит из цилиндрической обечайки, к верхней части которой приварено штампованное эллиптическое днище, а к нижней части приварен фланец для соединения с трубной системой и корпусом. Камера снабжена патрубками для подвода и отвода охлаждающей воды. Внутренний объем камеры разделен перегородкой на два отсека. В охладителе охлаждающая вода движется по трубкам, а охлаждаемая вода через штуцер в верхней части корпуса поступает в межтрубное пространство, разделённое секторными перегородками, создающими зигзагообразное движение среды и поперечное омывание трубок.

Насос КМ-100-80-160 состоит из центробежного насоса и специального двигателя с удлиненным концом вала, на фланцевом щите которого жестко крепятся корпусные детали. Направление вращения ротора – по часовой стрелке, если смотреть со стороны двигателя. Проточная часть насоса состоит из корпуса, прикрепленного к фланцу промежуточного фонаря, закрытого крышкой, и рабочего колеса, насаженного на удлиненный вал двигателя. Уплотнение вала – мягкий сальник. Для предотвращения износа вала под сальниковой набивкой на нем имеется защитная втулка.

При разработке компьютерной обучающей системы (КОС) по данной технологической системе предполагается создание компьютерно-

го учебного пособия (КУП) на основании [1,2] и локального ситуационного тренажера (ЛСТ), где будут отражены основные режимы нормальной эксплуатации данной технологической системы (подготовка к пуску, пуск, работа на мощности, останов, вывод в ремонт).

#### Библиографический список

1. **Инструкция** по эксплуатации технологической системы промконтур охлаждения отборов проб энергоблока №3. 03.ВК.ПЭ. 0031.44. Калининская АЭС.
2. **Эксплуатационные** схемы технологической системы промконтур охлаждения отборов проб энергоблока №3. 03.ВК.0043.ЭС.0044.44. Калининская АЭС.

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

## ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА АЭС С ВВЭР

Комбинирование газотурбинных установок (ГТУ) с паротурбинными установками на АЭС с ВВЭР является эффективным способом повышения экономичности и маневренности атомных станций. Включение в работу газовой турбины параллельно с паровой, в совокупности с использованием теплоты выхлопных газов ГТУ в тепловой схеме паротурбинной установки (ПТУ), способствует не только получению дополнительной мощности на АЭС, но и увеличению тепловой экономичности всего энергоблока. Газотурбинная установка может работать при этом как в пиковом, так и базовом режимах.

В докладе приведены результаты анализа комбинирования ГТУ с основными серийными турбинами АЭС – К-1000-60/3000, К-500-65/3000 и К-220-44/3000. Рассмотрены следующие способы утилизации тепла выхлопных газов:

- схема с промежуточным газовым перегревом пара (ГПП);
- схема с подогревом питательной воды (или её части) в газодводяном теплообменнике (ГВП);
- схема с котлом-утилизатором (КУ).

Газопаровой перегрев может осуществляться в газопаровом перегревателе, включенном параллельно штатному СПП, как до номинальных температур (при этом просто отключаются отборы пара на СПП), так и до гораздо более высоких температур (порядка 350 °С и



выше). В этом случае ГПП включается в тепловую схему ПТУ последовательно, после штатного СПП (рис. 1).

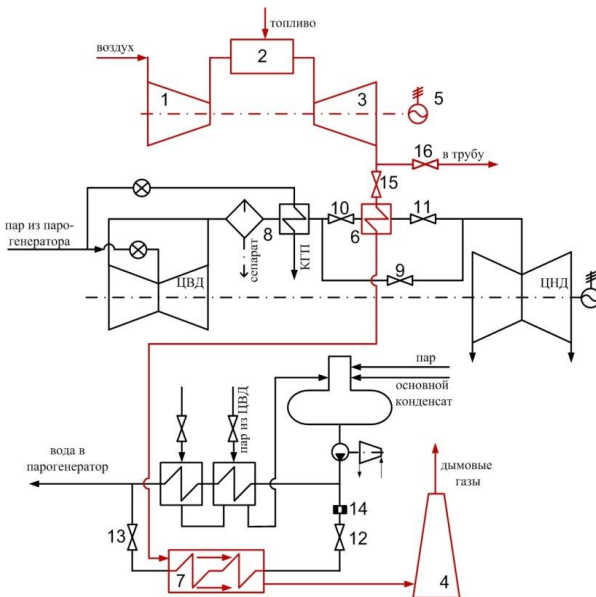


Рис.1. Принципиальная схема ПТУ на базе К-1000-5,9/50 с ГПП:

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4 – дымовая труба; 5 – электрогенератор ГТУ; 6 – ГПП; 7 – ГВП; 8 – СПП; 9–13, 15,16 – переключающая арматура; 14 – дроссельное устройство

Для использования в пиковом режиме весьма эффективно использование первого варианта, поскольку дополнительная мощность энергоблока вырабатывается не только ГТУ, но также вытесняемым паром отборов на СПП. С точки зрения получения высокой тепловой экономичности при работе ГТУ в базовом режиме более выгодным является промежуточный перегрев в ГПП до температур порядка 350 °С и выше. В табл.1,2 приведены характеристики рассматриваемых типоразмеров ГТУ и результаты расчета тепловой экономичности для разных значений температур промежуточного перегрева.

**Таблица 1. Характеристики выбранного газотурбинного оборудования**

| Характеристики ГТУ | К-1000-60/3000 |             | К-500-65/3000 |        | К-220-44/3000                |            |
|--------------------|----------------|-------------|---------------|--------|------------------------------|------------|
|                    | ГПП            | ПП+ГПП<br>П | ГПП           | ПП+ГПП | ГПП <sub>240/35</sub><br>0°С | ПП+Г<br>ПП |
|                    |                |             |               |        |                              |            |

|                                     |                         |                      |                |                |                           |                   |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------------|-------------------|
| Тип и мощность ГТУ, МВт             | Ansaldo V94.2K<br>186,1 | Alstom GT26<br>271,6 | ГТЭ-110<br>110 | ГТЭ-160<br>160 | ГТЭ-45-3М<br>56,9/ГТЭ-110 | ГТЭ-45-3М<br>56,9 |
| Расход на ГТ, кг/с                  | 540,0                   | 654                  | 362            | 509            | 173/362                   | 173               |
| Температура газа перед турбиной, °С | 1060                    | 1290                 | 1210           | 1075           | 1275/1210                 | 1275              |
| Температура газа за ГТУ, °С         | 545                     | 616                  | 517            | 537            | 545/517                   | 545               |
| КПД ГТУ, %                          | 36,5                    | 38,0                 | 34,5           | 34,4           | 34,7/34,5                 | 34,7              |

**Таблица 2. Результаты расчета схемы с ГПП для ПТУ К-1000-60/3000**

| Температура пара за ГПП, °С | Мощность паровой турбины, МВт | Мощность газовой турбины, МВт | Суммарная мощность, МВт | КПД ПГУ, % | Тип газовой турбины |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 250                         | 1089                          | 186,1                         | 1275,1                  | 36,33      | Ansaldo V94.2K      |
| 270                         | 1104                          | 230,7                         | 1334,7                  | 36,14      | 2x Alstom GT 11N2   |
| 290                         | 1120                          | 230,7                         | 1350,7                  | 36,58      | 2x Alstom GT 11N2   |
| 310                         | 1137                          | 304,8                         | 1441,8                  | 36,91      | 2x СилМаш ГТЭ-160   |
| 330                         | 1154                          | 304,8                         | 1458,8                  | 37,34      | 2x СилМаш ГТЭ-160   |
| 350                         | 1171                          | 368,5                         | 1539,5                  | 38,47      | 2x Alstom GT13E2    |

Результаты показывают, что при использовании двух ГТУ Alstom GT13E2 (перегрев до 662,00 °F) наибольшая мощность энергоблока с ПТУ К-1000-60/3000 достигает 1535 МВт при значении КПД по выработке электроэнергии около 38,3 %.

Недостаток этой схемы – высокая температура газа за ГПП. Дополнительное его охлаждение может быть осуществлено в газо-водяном теплообменнике (ГВП), включенном в тракт питательной воды или основного конденсата паровой турбины. Однако в этом случае экономичность паротурбинной установки снижается из-за ограничения собственной регенерации. Отметим, что использование вариантов с повышенной температурой перегрева для получения пиковой мощности снижает надежность работы ПТУ, так как при пуске и останове ГТУ могут возникать значительные температурные напряжения. Это может потребовать специальных мер по ограничению скорости прогрева металла паровпуска и первых ступеней ЦНД турбины.

Поэтому такие варианты рекомендуются для использования в базовом режиме. Естественно, применение повышенных температур перегрева пара требует тщательного анализа возможности работы паровой турбины в этих режимах. Возможно, целесообразным потребуются разработка новой турбины под высокие параметры пара.

Значительно более высокую экономичность обеспечат применение начального и промежуточного перегрева пара до значений, характерных для ПТУ ТЭС на органическом топливе, порядка 500°C. Современные газовые турбины, имеющие высокую начальную температуру газа на входе (1000-1200 °C и выше) позволяют организовать перегрев пара по 450-500 °C и выше). Так ГТУ GT-26 фирмы АВВ (Alstom) с промежуточной камерой сгорания (КС) имеет температуру газа на выхлопе газовой турбины около 615 °C, что позволяет обеспечить начальный и промежуточный перегрев до 517 °C для условий ПТУ К-1000-60/3000 ПО ЛМЗ (давление, расход). При этих условиях КПД энергоблока достигает величины 48 %.

Следует отметить, что использование газового перегрева пара или газового подогрева питательной воды в случае реконструкции действующих блоков АЭС сопряжено со значительными трудностями, связанными с необходимостью компоновки газотурбинного оборудования и газопаровых (газоводяных) теплообменников в машинном зале станции. В этом случае рациональным представляется применение схем с котлами-утилизаторами. Пар, вырабатываемый в КУ, замещает либо греющий пар СПП, либо греющий пар регенеративных подогревателей ПТУ. Сама ГТУ вместе с котлом-утилизатором может размещаться в отдельном здании вне пределов главного корпуса. Трассировка же пароводяных коммуникаций относительно небольшого диаметра не должна встретить особых затруднений. Надо отметить, что за рубежом имеется опыт применения на ПГУ котлов-утилизаторов двух и даже трех давлений. Это позволит расширить возможности выбора схемных решений и возможных режимов работы ПГУ на базе АЭС.

#### **Библиографический список**

1. **Нуждин В.Н.** Союз атома и газа/ В.Н. Нуждин, А.А. Просвирнов//Материалы инновационного форума Росатома, 2007 г. Центр “Атом-инновация” – Москва, 2007г., с.28-33.
2. **Сурков В.В.** Комбинированная установка АЭС-ГТУ//Теплоэнергетика, 1981. №10. с.57-58.
3. **Хрусталёв В.А.** Об одном способе форсировки паротурбинных блоков АЭС/ В.А. Хрусталёв, С.М. Петин//Известия вузов. Энергетика.1981.№7. с.106-108.
4. **Наумов А.С., Хрусталёв В.А.** Комбинирование АЭС и ГТУ – один из способов повышения эффективности АЭС в энергосистемах /Наумов А.С., Хрусталёв В.А.//Проблемы энергетики, 2012, №5-6, с. 86-94.

*Н.И. Хохлов, студ.; рук. В.И. Белозеров канд. тех. наук, доц.;*  
*В.К. Милинчук, д-р хим. наук, проф.*  
*(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

## **ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА САВ-1 С ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ 100 °С**

В кластерно регулирующем органе (КРО) происходит перемещение поглощающих элементов. При перемещении возникает механическое трение поглощающих элементов (ПЭ) со стенками продольных каналов, которые изготовлены из сплава алюминия САВ-1. В результате механического воздействия прочность оксидной пленки нарушается и частично или полностью удаляется с поверхности, а сплав переходит в состояние чистого металла без защитной оксидной пленки. В результате протекает взаимодействие активированного алюминиевого сплава с водой, которое сопровождается генерацией водорода.

Проведены экспериментальные исследования взаимодействия алюминиевого сплава марки САВ – 1 с водной средой гильзы КРО при наличии таких химических соединений, которые в воде могут реагировать с поверхностным пассивирующим оксидным слоем, удалять его и переводить металл в активированное состояние по отношению к реакции восстановления водорода из воды. В качестве таких активаторов исследованы кремнийсодержащие соединения (жидкое натриевое стекло, жидкое калиевое стекло, кристаллогидраты метасиликата натрия) и кальцийсодержащее соединение - негашеную известь.

Получение водорода проводится на лабораторной установке, в состав которой входят: стеклянная реакционная колба, в которую помещают компоненты реакционной смеси; дозаторное устройство для подачи водного раствора в реакционную колбу; термометр; газоотводная трубка для водорода; сосуд с водой, через который пропускается водород; стеклянный цилиндр для сбора водорода (рис. 1).

Изучены кинетические закономерности накопления водорода в гетерогенных композициях, содержащих алюминий и алюминиевый сплав САВ – 1 в зависимости от времени (минуты, сутки), для сплава САВ – 1 также от предварительного пребывания в воде в течение 15

суток. Сопоставлены закономерности накопления водорода в зависимости от строения кремнийсодержащих активаторов.

Установлено, что реакции алюминия и алюминиевых сплавов с жидким натриевым стеклом и жидким калиевым стеклом протекают в эндотермическом режиме, с кристаллогидратами метасиликата натрия, негашеной известью - в экзотермическом режиме. Выход водорода составляет 1,2 л на 1 г алюминия, 0,6 – 0,7 л на 1 г алюминиевого сплава САВ – 1. Образующийся при взаимодействии металла с водой водород входит в состав газо-водной смеси в полости гильзы КРО реактора РБМК-1000, что необходимо принимать во внимание при проведении мониторинга состава газовой среды.

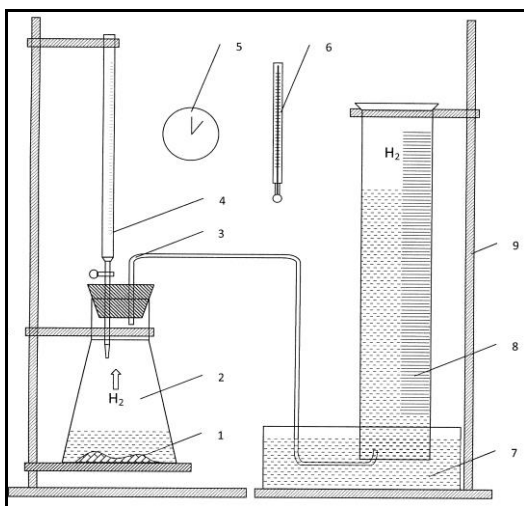


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения водорода в гидрореакционных гетерогенных композициях в экзотермическом режиме: 1 – реакционная смесь, состоящая из высокодисперсного порошка металла или сплава и порошка соли неорганической кислоты (твёрдая фаза) и воды; 2 – реакционная колба; 3 – стеклянная газопроводная трубка для водорода; 4 – дозаторное устройство для воды; 5 – хронометр; 6 – термометр; 7 – сосуд с водой; 8 - измерительный цилиндр для сбора водорода; 9 – штатив для крепления измерительного стеклянного цилиндра

#### Библиографический список

1. **Исследование** генерации водорода при взаимодействии алюминия с водными растворами/ В.К. Миличук, В.А. Белозеров. А.С. Шилина и др.// Известия вузов. Ядерная энергетика. № 2. 2013. С. 39 - 46.

*Д.Ю. Кашин, асп.; рук. С.Т. Лескин, д.т.н., проф.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск)*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭС

Средства измерения, как правило, показывают значения не интересующих исследователя величин, а некоторых других, связанных с ними системой дифференциальных уравнений (например, термопары показывают не температуру среды, а собственную). Поэтому прямо связать показания средств измерения с искомым параметром можно только в стационарных режимах. В переходных режимах для этого нужен еще и учет предыстории работы средства измерения. Для решения таких задач удобны цифровые фильтры – выражения, связывающие дискретные отсчеты искомых ( $y$ ) и измеряемых ( $x$ ) величин:

$$y_i = f(x_{1,i}, x_{1,i-1}, \dots, x_{2,i}, x_{2,i-1}, \dots, \dots, y_{i-1}, y_{i-2}, \dots) \quad (1)$$

Их построение обычно проводится или методом замены оператора дифференцирования в передаточной функции конечно-разностной аппроксимацией или заменой интегралов в интегральном уравнении по формулам скользящего интегрирования. В данной работе рассматриваются альтернативные подходы, возможности которых показаны на примере построения зависимостей для компенсации инерционности родиевого детектора прямого заряда (ДПЗ). Поглощая нейтроны, материал детектора активируется, и испытывая  $\beta$ -распад, создает сигнал детектора – сглаженную и запаздывающую во времени зависимость плотности потока от времени. Необходимо в реальном времени, при поступлении каждого измерения детектора, получить плотность потока нейтронов. Простейшая модель родиевого ДПЗ приведена в [1], [2]:

$$\begin{cases} i = cn + \lambda_2 m_2 \\ dm_1/dt = a_1 n - \lambda_1 m_1 \\ dm_2/dt = a_2 n + \lambda_1 m_1 - \lambda_2 m_2 \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  – плотность потока,  $i$  – нормированный ток детектора,  $c$  – мгновенная составляющая сигнала,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – количества ядер промежуточных элементов и их постоянные распада,  $a_1$  и  $a_2$  пропорциональны вероятностям протекания реакции по разным каналам.

Первый рассмотренный подход состоит в следующем. Проводится дискретизация системы – производные заменяются разностными ана-

логами, а шагам по времени приписываются временные индексы. Если дописывать эти же уравнения для предыдущих моментов времени, система уравнений на некотором этапе замкнется и из нее можно будет выразить искомую величину в явном виде, причем, с учетом нерегулярности измерений. Кроме того, можно варьировать некоторые временные индексы в замкнутой дискретизированной системе, что дает возможность получить множество цифровых фильтров, а из них выбрать лучший. Например, так получена следующая зависимость:

$$n_j = \frac{\Delta t_j}{c + a_2 \lambda_2 \Delta t_j} \left\{ \frac{i_j}{\Delta t_j} + i_{j-1} \left( \lambda_1 + \lambda_2 - \frac{1}{\Delta t_{j-1}} - \frac{1}{\Delta t_j} \right) + (i_{j-2} - c n_{j-2}) \left( \frac{1}{\Delta t_{j-1}} - \lambda_1 \right) \times \right. \\ \left. \times (1 - \lambda_2 \Delta t_{j-1}) + n_{j-1} \left[ a_2 \lambda_2 + c \left( \frac{1}{\Delta t_j} + \frac{1}{\Delta t_{j-1}} - \lambda_1 - \lambda_2 \right) - \Delta t_{j-1} \lambda_1 \lambda_2 (a_1 + a_2) \right] \right\}. \quad (3)$$

Эта зависимость не дает выбросов при резких переходных процессах в отличие от фильтров, полученных с использованием билинейного преобразования, и не требует наличия мгновенной составляющей сигнала в отличие от таких формул, как в [2]. Выразив из (3)  $i_j$ , получим формулу для моделирования показаний детектора, которая может применяться в симуляторах. Для проверки всех фильтров задавалась зависимость плотности потока от времени, и моделировался соответствующий ей сигнал детектора (что возможно с произвольной точностью по сумме спадающих экспонент). По проверяемым соотношениям из смоделированного сигнала восстанавливалось поведение плотности потока и сравнивалось с изначально заданным. Пример проверки формулы (3) приведен на рис. 1.

Видно, что заданная зависимость ступенчатой формы и восстановленная из смоделированного сигнала детектора практически совпадают.

Также в работе рассмотрен симуляционный подход к построению цифровых фильтров. Пусть откуда-либо известна зависимость искомой величины от времени и соответствующее ей изменение измеряемой величины. Тогда можно задать цифровой фильтр в произвольной форме (удачно выбранная форма обеспечит высокую точность).

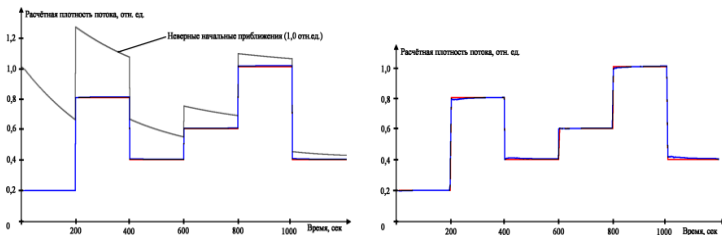


Рис. 1. Проверка формулы (3) при регулярных (слева) и нерегулярных измерениях

Для ДПЗ оправдано искать плотность потока в виде линейной комбинации текущих и нескольких предыдущих значений тока и плотности потока. Далее нужно выбрать из известных нам зависимостей величин от времени комбинации значений в том же составе, что и в заданной форме. Комбинаций нужно взять столько, сколько коэффициентов фильтра требуется вычислить. Подставив эти комбинации в заданную форму, получим замкнутую систему уравнений для определения коэффициентов фильтра. Разыграв множество таких опытов и усреднив результаты, получим предельную точность для заданной формы фильтра и использованного вида входного сигнала.

Описанные методы просты, удобны, не требуют знания математики, и часто дают результаты лучше, чем классические подходы.

#### Библиографический список

1. **Математическая** модель родиевых детекторов прямого заряда и алгоритмы коррекции их инерционности / **В.И. Бурьян, Л.В. Козлова, А.С. Кузиль, В.Ф. Шикалов** // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2005. – №1, М.: ИДТ, 2005.
2. **Geun-Sun Auh** Digital dynamic compensation methods of rhodium self-powered neutron detector. // Journal of the Korean Nuclear Society. Vol. 26, №2, 1994.



## СЕКЦИЯ 10

# ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

*Председатель – к.т.н., доцент В.Ю. Пронин*  
*Секретарь – студ. М.С. Цветкова*

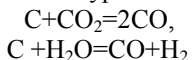
*А.А. Никитин студ., О.И. Горинов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПРОИЗВОДСТВО ТЕРМОГАЗА В ТЕРМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ТИПА

В условиях прогнозируемого возрастания дефицита (и цен) на традиционные виды топлива (газ, уголь) актуальным является производство искусственных (не традиционных) топлив, которые являлись бы доступными и не дорогими.

Способ производства газообразного топлива из твердого (или жидкого) органического сырья известен давно (например, коксовые батареи). Этот способ основан на процессе пиролиза коксующего угля. При этом оставшийся углеродистый остаток – кокс, ради которого и осуществляется процесс пиролиза, используется дальше как энерго-технологическое топливо.

Если в качестве органосодержащего сырья использовать различные виды отходов, в том числе и твердые бытовые, то полученный твердый углеродистый остаток в дальнейшем не находит своего применения и поэтому его целесообразно использовать здесь же процессом газификации превращая в газ. В качестве газифицирующих агентов используются газы  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  полученные в процессе пиролиза. Процесс газификации твердого углеродистого остатка производится при температурах  $t$  ниже  $1000^\circ\text{C}$  по уравнениям



Энергия для осуществления процессов пиролиза и газификации берется от сжигания части газов, полученных от этих процессов. Суммарный газ, полученный от процессов пиролиза, газификации и сжигания получил название термогаза, а установка, в которой он получен – терморектор.

Процесс производства термогаза энергоэффективен, поскольку энергия на его осуществление берется из самого процесса.

На кафедре «Энергетики теплотехнологии и газоснабжения» разработан способ [1] и конструкция [2] терморектора блочно-модульного типа, который устанавливается непосредственно на полигоне ТБО. Терморектор представляет собой прямоугольный колпак, футерованный изнутри огнеупорным материалом. В верхней части колпака установлены горелки, в которые подается термогаз для сжигания. Под колпаком поддерживается температура около 1100°C. Колпак установлен на поверхности слоя ТБО. Под воздействием температуры в бескислородной атмосфере на поверхности слоя происходят процессы подсушки, пиролиза и газификации. По мере термического разложения колпак опускается вниз. Термогаз отводится с боковых сторон в специальный коллектор, из которого он частично направляется в горелки для сжигания, а остальная часть на энергетические нужды.

#### Библиографический список

1. Заявка на патент №2013110151 Способ порционной термической переработки несортированных твердых бытовых отходов на полигоне.
2. Заявка на патент №2013142737 Переносная установка для термической переработке твердых бытовых отходов на полигоне.

*М. Цветкова студ., О.И. Горинов, к.т.н., доц., О. Б. Колибаба,  
к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### **ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ АУТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА В БЛОЧНО- МОДУЛЬНОМ ВАРИАНТЕ**

Процесс производства энергии для локальных потребителей, удаленных от традиционных источников энергии (природный газ, уголь) является актуальным. А если при этом происходит улучшение экологической обстановки вследствие уничтожения вредных отходов, то такая технология обладает несомненным преимуществом перед другими технологиями.

Разработанный на кафедре «Энергетики теплотехнологий и газоснабжения» термический реактор блочного типа, для производства

термогаза из твердых бытовых отходов [1], послужил основой для теплотехнологии автономного энергообеспечения структурно разрабатываемая теплотехнология включает в себя: термический реактор; камеру сжигания; котел утилизатор; турбину и электрический генератор.

Блоки-терморекторы собираются в группы по 4 штуки. Каждая группа способна производить термогаз с теплотворной способностью не ниже  $20 \text{ МДж/м}^3$  и средним выходом не ниже  $300 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Термогаз от группы, со средней температурой около  $800^\circ\text{C}$ , поступает в камеру сжигания, куда подается воздух для горения. Далее продукты горения поступают в котел-утилизатор блочного типа, в котором производится перегретый пар. Перегретый пар поступает в турбину так же блочного типа, которая соединена с электрогенератором, производящим электрическую энергию. Мощность электрогенератора порядка 1,5 МВт.

Предлагаемая теплотехнология энергоэффективна, поскольку энергию необходимую для осуществления термических процессов в терморекторе получают от сжигания части произведенного термогаза.

#### Библиографический список

1. Заявка на патент №2013142737 Переносная установка для термической переработке твердых бытовых отходов на полигоне.

*А.С. Сумина студ., О.И. Горинов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ТЕХНОЛОГИЯ ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Разработанные на кафедре «Энергетики теплотехнологий и газоснабжения» теплотехнологии автономного энергообеспечения предусматривают, в конечном счете, производство электрической энергии из твердых бытовых отходов на основе тепловых процессов. В процессе этой технологии образуются тепловые отходы, обладающие низкой энергией, в виде уходящих газов и насыщенного пара. Для повышения энергетической эффективности, разработанной технологии, представляет интерес использование тепловой энергии низкопотенциальных энергоносителей, а также превращая ее в электрическую при помощи термоэлектрических преобразователей типа «воздух–воздух» (380-24-АА) или «жидкость–жидкость» (400LT). Одна сборка термоэлектрических преобразователей типа «воздух–воздух» способна преобразовать

тепловую энергию уходящих продуктов горения в электрическую производя при этом 380 Вт энергии. Сборка типа «жидкость–жидкость» способна преобразовать тепловую энергию горячей воды (или насыщенного пара) в электрическую, производя при этом 400 Вт энергии.

Применять термоэлектрические преобразователи, для производства электрической энергии целесообразно в автономных системах энергообеспечения небольшой мощности порядка 500кВт, поскольку преобразование низкопотенциальных энергоносителей в электрическую мощность дает существенную прибавку.

В автономной блок-модульной энергетической системе основанной на термическом реакторе блочного типа [1], производящего термогаз в количестве 200м<sup>3</sup>/час, электрогенератор может вырабатывать 700 кВт электрической мощности. За счет термоэлектрических преобразователей электрическую мощность можно увеличить на 25 %. Температура уходящих газов при этом понизится на 65°С.

#### Библиографический список

1. Заявка на патент №2013142737 Переносная установка для термической переработке твердых бытовых отходов на полигоне.

*Сметанин К.Е., студ., О.И. Горинов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОЧНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОТОПЛЕНИЮ ИХ ТЕРМОГАЗОМ**

Термогаз, получаемый в результате термического разложения органических веществ обладает некоторыми физическими особенностями, затрудняющими сжигание его при помощи обычных газогорелочных устройств. Во-первых, выходящий из терморектора термогаз имеет температуру порядка 1000°С, что создает затруднение в его транспортировке и эксплуатации газогорелочного устройства.

Во-вторых, в составе термогаза имеются полиароматические углеводороды, которые при охлаждении превращаются в смолы, что так же создает затруднение в эксплуатации газогорелочного устройства.

Нами предлагается в газопроводе установить камеру сжигания термогаза (газовую камеру) и в котел направлять готовые продукты горения с температурой не ниже 1200°С. Камера сжигания представляется собой футерованный канал куда подается воздух. Воздух подается в

канал за счет эжектирующего действия газового потока. Продукты горения от газовой камеры поступают в блочный котел в место, где устанавливается горелка. В случае, если в котельном агрегате предусматривалась установка рекуперативной горелки, то за ним необходимо установить дымосос.

Модернизированный котельный агрегат является блоком в блок-модульной автономной энергетической системе энергообеспечения состоящей из термореактора, парового котла, турбины и электрогенератора.

#### Библиографический список

1. Патент №2437030 «Способ термической переработки несортированных твердых бытовых отходов».

*Д.А. Черный студ., О.И. Горинов, к.т.н., доц.,  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

Проблема получения энергии на основе нетрадиционных источников энергии является актуальной и в последнее время приобретает жизненно важное значение. Особенно это имеет место в отдаленных районах, в которых отсутствуют традиционные источники энергии (газ, уголь), но имеются в большом количестве различные органосодержащие твердые бытовые отходы (опилки, древесная кора, пластмасса, твердые бытовые отходы и т. п.).

На кафедре энергетики теплотехнологий и газоснабжения разработаны способ [1] и конструкция [2] стационарного термического реактора по термическому разложению органосодержащего сырья (ТБО) с одновременным производством газообразного топлива (термогаза).

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить теплотворную способность термогаза, которая составляет  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 19$  Мдж/м<sup>3</sup>.

Газ, полученный в термическом реакторе является первичным источником энергии на которой основывается технология автономного энергообеспечения.

Газ после термического реактора в количестве около 120 м<sup>3</sup>/час при температуре около 1000 °С поступает в котельный агрегат блочно-модульного типа, где он сжигается. Выработанный в котельном агрегате перегретый пар поступает так же в блочно-модульную турбину небольшой мощности, порядка 500 кВт, для выработки электрической энергии.

Представленная теплотехнология производства электрической энергии из твердых бытовых отходов, может быть распространена на любое органосодержащее сырье (древесные и угольные отходы, отходы пластмасс и здравоохранения, отходы сельского хозяйства). Себестоимость произведенной электрической энергии по представленной теплотехнологии в несколько раз ниже полученной от централизованных источников.

#### Библиографический список

1. Патент №2437030 «Способ термической переработки несортированных твердых бытовых отходов».
2. Патент №2433344 «Установка для термического разложения несортированных твердых бытовых отходов».

*М. В. Лопатина, студ.; О. Б. Колибаба, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИГА КИРПИЧА В ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРА ДАТАРАQ

Обжиг кирпича, как и всяких других глиняных изделий, заключается в постепенном и непрерывном нагревании сырца до установленной температуры (обычно до 920 - 1100°), после чего изделия также постепенно охлаждаются. Во время обжига под действием высокой температуры в глине происходит ряд физических и химических явлений, в результате которых она меняет свои свойства и цвет.

Обжиг кирпича является завершающим и поэтому наиболее важным и ответственным процессом производства. Качество кирпича и количество брака во многом зависят от результатов обжига. Неправильный режим может повлечь перерасход топлива, а также увеличить сроки обжига, снизив производительность печи. Поэтому процессу обжига кирпича нужно уделять особое внимание и установленный для данного завода режим обжига должен строго соблюдаться.

На кирпичном заводе «Пятый элемент» г. Калининград мы с помощью современного прибора Dataracq исследуем кривую обжига кирпича в туннельной печи.

Система радиотелеметрии Dataracq Kiln Tracker дает возможность увидеть в реальном времени, что происходит с продуктом во время процесса термоупрочнения. Размещенные в измерительном устройстве термоэлементы передают значения температуры в регистратор данных, который находится непосредственно за вагонеткой печи. Этот регистратор данных, который ниже вагонетки защищен от высоких температур специально предназначенным для этого термозащитным контейнером, передает на высокой частоте (HF) значения температуры на персональный компьютер (ПК).

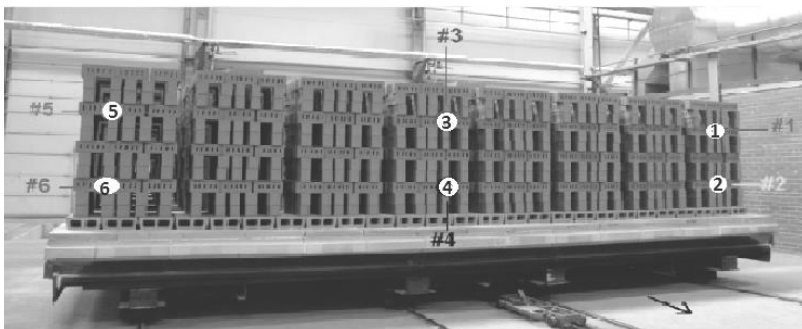


Рис. 1. Схема расположения термопар.

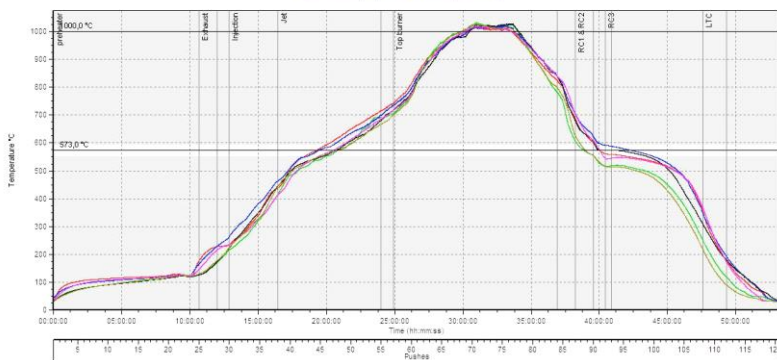


Рис. 2. Общий график Datarack

В предпечь подача горячего воздуха в 140°C равномерна на всей загрузке, так как температура уплотняется при подаче. Можно заметить, что температура изделий не доходит до 140°C, но только до

120°C. Подъем температуры изделий на входе в предпечье неоднороден. Изделия наверху загрузки и, особенно, наверху с левой стороны, быстро нагреваются, с разницей до ~30°C с изделиями внизу. Эта разница является следствием экстракции из предпечья, что облегчает прохождение под свод. Создание боковой экстракции или воздухообмена под сводом позволяет уменьшить эту разницу температур.

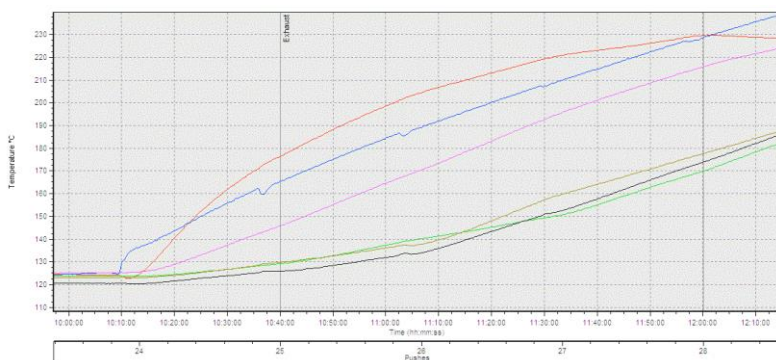


Рис. 3. Кривая данных печи.

С момента попадания в печь, изделия наверху загрузки быстро нагреваются, и, особенно, с левой стороны, (нарушение равновесия) (Рис. 3).

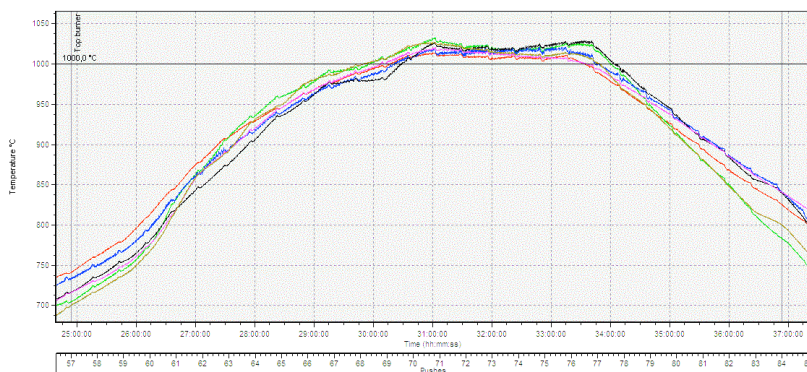


Рис. 4. Кривая данных зоны обжига.

Зона обжига относительно однородна по загрузке печи, с тенденцией обжига, предпочтительно, нижних слоев загрузки.



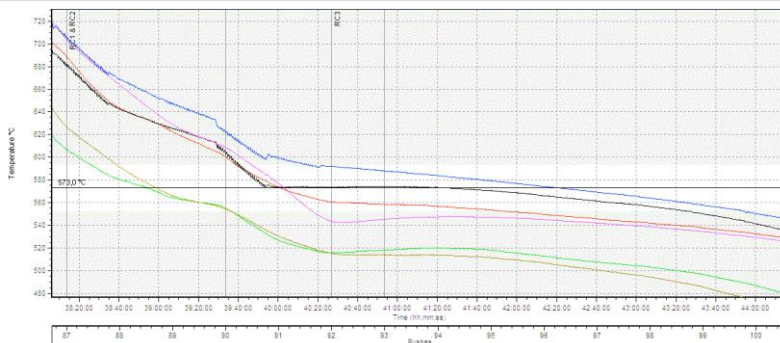


Рис. 5. Кривая данных быстрого охлаждения.

Изделия, находящиеся по углам внизу загрузки, быстрее охлаждаются, чем остальная загрузка и остаются холоднее от 50 до 75°C. Зона прохождения точки кварцевания слишком близка к зоне быстрого охлаждения, которая может создать трещины от охлаждения. Это усиливается неоднородностью температуры загрузки.

По результату анализа кривой обжига, полученной при обследовании, можно сделать вывод, что в целом обжиг кирпича соответствует установленному для данного формата кирпича.

*М. В. Лопатина, студ.; О. Б. Колибаба, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ КИРПИЧА В ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРА CERIDRAY**

Для каждого формата изделия устанавливается определенный режим сушки, то есть допустимая интенсивность сушки, температура материала, температура и относительная влажность сушильного агента и теплоносителя, скорость его движения у материала и изменение указанных параметров в различные периоды процесса сушки. Сушка керамических изделий требует определенного режима, как в отношении допускаемых безопасных скоростей сушки, так и температуры нагрева изделий. Только лишь комплексное рассмотрение вопросов теории сушки позволит устанавливать оптимальные режимы сушки, при которых изделия будут высыхать в кратчайшие сроки и иметь высокое качество.

На кирпичном заводе «Пятый элемент» г. Калининград с помощью автономного многоканального регистратора Ceridry было проведено исследование процесса сушки кирпича в туннельной сушилке.

Датчики Ceridry были установлены наверху и внизу вагонетки. Зафиксированный путь сушки проходил на ближайшем расстоянии к «подъездному» каналу. По результатам обследования были получены кривые данных параметров сушки кирпича: влажности, температуры и усадки кирпича-сырца.

Общие замечания по кривой данных: во время всего процесса сушки можно заметить, что мощность просушивания внизу загрузки выше, чем наверху. Действительно, температурные условия и влажность воздуха наверх и внизу различны. Температура воздуха внизу всегда выше, чем наверху. Влажность воздуха внизу всегда ниже, чем наверху. Это различие может быть связано с воздушными потоками, распределяющими всасываемый горячий воздух ближе к туннелю внизу загрузки. Последствием этой разницы является, безусловно, разница усадки наверху вагонетки по отношению к усадке внизу. Усадка внизу происходит практически до зоны №6, зона, где температура начинает быстро расти. Тем не менее, процесс усадки не завершается на 100% во время прохождения в горячую зону. Это приводит к возникновению риска задержки появления усадки наверху загрузки, что может затронуть качество изделий.

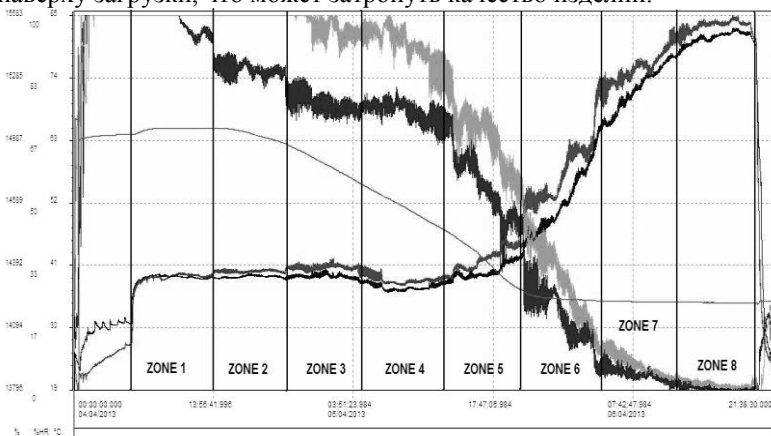


Рис. 1. Общая кривая Ceridry.

*В. Власова, студ.; рук. О. В. Самышина, асп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ В ГЕРМАНИИ НА ОСНОВЕ БИОГАЗА

Биогаз возникает при ображивании биомассы. Этот газ, содержащий метан доставляется, как возобновляемое и универсальное сырье для производства электроэнергии, тепла и топлива. Производители биогазовых установок используют его в электростанциях. Биогаз можно хранить или подавать в газовую сеть. Биогаз, как природный газ состоит в основном из метана. Микроорганизмы образуют его, когда растения, помет или жидкий навоз разлагаются. Также биогаз образуется в очистных сооружениях или на мусорной свалке. Для энергетического использования биогаз преобразовывается на теплоэлектростанции (ТЭЦ) в электроэнергию и тепло. Тепло может быть использовано, например, для отопления зданий. Таким образом можно использовать энергию вдвойне и благодаря этому особенно эффективно.

В 2011 году биогазовыми установками в Германии произведено около 18 Миллион мегаватт-часов (МВт-ч) биогазового электричества. Этого количества электричества достаточно, чтобы 13 процентов из приблизительно 40 миллионов частных потребителей в Германии получали электроэнергию. Это соответствует более 12 процентам, производимой от возобновляемых источников энергии – или около трех процентов немецкого потребления электроэнергии. Биогазовая установка с установленной электрической мощностью около 500 кВт вырабатывает около 2 миллионов кубических метров биогаза, около 4 миллионов киловатт электроэнергии и 4,4 миллиона кВт тепла в год. Это эквивалентно 440 000 литрам мазута.

Биогаз может быть подан непосредственно в имеющуюся газовую сеть. В настоящее время 57 биометановых установок подводят газ в газовую сеть. К концу 2013 около 130 установок будут производить и продавать в Германии почти 6,2 млрд. кВт\*ч биометана. Это соответствует количеству энергии, которая обеспечивает спрос на отопление и горячую воду для 310 000 семей состоящих из четырех человек. Мини-электростанции распределяют непрерывно максимальную мощность и при этом должны использовать колебания в составе газа, чтобы не допускать снижение производительности.

Если масса биометана используется как топливо, то можно эксплуатировать 360 000 автомобилей на природном газе с пробегом 20 000 км в год. Располагаемая мощность с 1 гектара кукурузы соответствует пробегу 70 000 км. В Германии существуют 3 биогазозаправочные станции, где можно заправляться биометаном, как чистым топливом.

Первая чисто биогазозаправочная станция Германии была открыта в 2006 году в Нижнесаксонском Ямельне. Вторая находится около очистных сооружений в Ботропе в Рурской области (северная Рейн Вестфалия). Третья действует с осени 2011 года в Данненберге, также в Нижней Саксонии, на предприятии. Существует еще 20 газозаправочных станций природного газа на 100 процентном биометане.

В настоящее время проводятся работы по использованию биотоплива и совершенствованию системы энергоснабжения.

#### **Библиографический список**

1. **Multitalent** Biogas— 2012, Neue Chancen für Landwirtschaft, industrie und umwelt dritte, vollständig überarbeitete Auflage.

*Т. Муратова, студ.; рук. Р. Н. Габитов, асп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЛОЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ЕГО СУШКИ**

В процессе термической переработки твердых бытовых отходов (ТБО) реакторами шахтного типа можно выделить три стадии: сушка отходов, пиролиз и газификация твердого углеродистого остатка. Процесс сушки слоя отходов сопровождается затратами энергии на удаление влаги, содержащейся в слое, и затратами времени. Для оптимизации процесса сушки отходов необходимо знать характеристики, как и процесса, так и слоя отходов. В работах Лыкова, Романкова, Сажина имеются экспериментальные данные по компонентам отходов в отдельности, но нет данных по влажности смеси отходов в целом.

Целью работы являлось экспериментальное определение температурных кривых и кривых кинетики сушки отходов во времени.

Экспериментальная установка состояла из сушильного шкафа, термомпары с преобразователем сигнала и ПК. Смесь ТБО готовится искусственно по среднему морфологическому составу компонентов: бумага – 44,2%, древесина (сосна) – 1,8%, текстиль – 4,7%, пищевые отходы (картофель) – 41,8%, резина – 0,9%, кости – 1,8%, пластмасса – 5,3%. Навеска с ТБО предварительно замачивается в течение 20 ÷ 24 ч, потом свободная влага удаляется путем отжима. Навеска взвешивается на весах с точностью до 10-5 кг. Две навески помещают в предварительно нагретый до определенной температуры (107°C, 127°C, 147°C, 167°C) сушильный шкаф. Во времени фиксировались температура материала по длине образца и убыль массы. Таким образом, были получены кривые кинетики сушки и температурные кривые. Эксперимент длится до установления постоянной массы навески с ТБО.

В ходе работы получены экспериментальные данные изменения температуры, массы и влажности ТБО среднего морфологического состава в процессе сушки при различных температурах.

*К.А. Долинин, студ.; рук. Д.А. Долинин, ст. преп.;  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS FLUENT**

Широкое использование природного газа в различных теплотехнологических процессах определяет необходимость применения энерго-сберегающих технологий и совершенствование систем безопасности в процессе добычи, транспортировки и потребления. Значительные потери давления на элементах газопроводов, а также невысокая точность узлов коммерческого учета являются основными причинами неэффективного использования природного газа. Один из вариантов решения данной проблемы заключается в совершенствовании средств измерения расхода газа и различных элементов газопровода с применением современных вычислительных программных комплексов.

Проектирование и строительство должно обеспечивать снижение потерь давления газа как по длине (использование труб с гладкой внутренней поверхностью), так и на местных сопротивлениях (запорно-регулирующая арматура, отводы, компенсаторы и т.д.). Установка на газопроводах конструктивных элементов с потерями давления, превышающими нормативные значения, недопустимо и опасно, поскольку ведет к нестабильной работе и делает невозможной безопасную эксплуатацию послевключенного оборудования (котлы, колонки, плиты и т.д.), предполагающего обязательное наличие минимального входного давления газа.

Развитие компьютерных технологий сделало возможным использование программных пакетов для моделирования различных гидро- и газодинамических процессов. Современный уровень развития методов вычислительной гидродинамики позволяет решать с достаточной точностью многие практические задачи. Задача анализа гидравлического сопротивления отдельных конструктивных элементов газопроводов, а также систем газоснабжения может быть решена с помощью комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent.

Для решения задачи были построены трехмерные геометрические модели области течения газа в масштабе 1:1 в пакете Solid Works. Длина входного участка составляла 10 диаметров, выходного – 20. Расчетная сетка строилась в ANSYS Meshing. Расчеты производились в модуле ANSYS FLUENT. Задачи решались в стационарной по-

становке. На входе в расчетную область задаются скорость потока, а на выходе – относительное давление, равное нулю. На остальных поверхностях расчетной области автоматически задается условие гидравлически гладкой изотермической стенки. Турбулентность моделируется стандартной k-моделью с автоматическими функциями стенки. После выполнения расчетов производилась оценка перепадов давления и коэффициенты потерь.

Результаты моделирования на базе программного комплекса ANSYS могут быть использованы для разработки лабораторных работ по курсам «Гидрогазодинамика», «Моделирование и автоматизированное проектирование ТТУ и СГ».

*Д.М. Коршунов, А.А. Поцелуев, студ.; рук. О.Ю. Нагорная, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОВЫХ УТИЛИЗАЦИОННЫХ БЕСКРМПРЕССОРНЫХ ТУРБИНАХ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX**

Исследование рабочих процессов, происходящих в турбомашинах интересно как поиск путей повышения их энергетической эффективности. Повышение энергетической эффективности можно достичь, применяя только комплексную оптимизацию рабочего процесса, поскольку даже незначительные изменения отдельных элементов конструкции или внешних условий влекут серьёзное изменение режимов работы отдельных узлов в турбомашинах. По этой причине изучение и понимание рабочего процесса турбины является актуальным и востребованным. Глубокое понимание процессов, происходящих в ее межлопаточных каналах, позволяет избежать ошибок при проектировании и повысить ее газодинамическую эффективность.

В последнее время в связи со значительным прогрессом в области вычислительной техники появилась возможность исследования потоков методами вычислительной газовой динамики или, как их часто называют, CFD-методами.

Проточная часть любых лопаточных машин обладает сложной пространственной формой, затрудняющей как построение геометрии, так и наложение на нее сетки конечных элементов. Выполнение этих операций в универсальных программах трехмерного моделирования

ния и универсальных сеткогенераторах в принципе возможно, но требует значительных усилий и времени. В настоящее время для упрощения этих операций разработаны специализированные программы, которые позволяют одновременно создавать и трехмерную модель, и сетку для CFD-расчета. При этом в качестве исходных данных они используют традиционную форму представления геометрии лопаток: координаты точек профиля, линии меридиональных обводов и т.п. При этом процесс создания сеточной модели значительно ускоряется. [1]

Из многообразия тепловых двигателей в данной работе рассматриваются газовые утилизационные бескомпрессорные турбины (ГУБТ), которые используют избыточное давление доменного газа для выработки электроэнергии. Применение ГУБТ – одно из эффективных мероприятий, позволяющих уменьшить энергоемкость производства чугуна и себестоимость металлопродукции в целом.

Целью работы является создание математической модели газовой утилизационной бескомпрессорной турбины ГУБТ-25 [2] и изучение рабочего процесса в ее проточной части с помощью программы Ansys CFX, одной из самых распространенных универсальных программ для исследования течений различного класса.

Процесс CFD-расчета турбомашин включает в себя следующие основные этапы:

- выбор расчетной области;
- создание геометрической модели выбранной расчетной области;
- наложение на геометрическую модель сетки контрольных объемов;
- задание условий моделирования (свойств вещества, граничных условий);
- непосредственно решение системы уравнений Навье–Стокса;
- анализ полученных результатов.

Верификация модели производится по экспериментальным данным, полученным при промышленном эксперименте [3].

Математическая модель ГУБТ-25 дает возможность совершенствовать конструктивные и режимные параметры работы турбины с целью повышения ее энергетической эффективности.

#### Библиографический список

- 1.Исследование рабочего процесса в ступени осевой турбины с помощью универсального программного комплекса Ansys CFX: метод. указания / сост.



- О.В. Батури́н, Д.А. Колмакова, В.Н. Матвеев, Г.М. Попов, Л.С. Шаблий – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. - 100 с.: ил.
2. **Степанов В.М.**, Белоусова Т.Л., Нагорная О.Ю., Соколов С.Ю. Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина мощностью 25 МВт и ее технико-экономические показатели // Научно-технический и производственный журнал «Турбины и компрессоры». – Санкт-Петербург.: ОАО «Невский завод», 2005. Выпуск № 1, 2 (30, 31). – С. 22-27.
3. **Нагорная О.Ю.**, Горбунов В.А., Горинов О.И. Экспериментальное исследование работы ГУБТ-25 на ОАО «Северсталь» // Состояние и перспективы развития электротехнологии. XII Бенардосовские чтения: Тез. докл. международной научно-технической конференции. – Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2005. Т.2. – С. 54.

*Г.А. Перевезенцев, асп.; рук. В.А. Горбунов, к.т.н., доц.;  
О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НАСЫПНЫХ САДОК В ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

**Термическая печь** – это промышленная печь, предназначенная для проведения различных операций термической или химико-термической обработки металлических изделий.

Насыпная садка – садка, образованная мелкими заготовками, габариты которой значительно превышают размеры отдельной детали [1]. Термическая печь с насыпной садкой на поддонах показана на рис. 1.

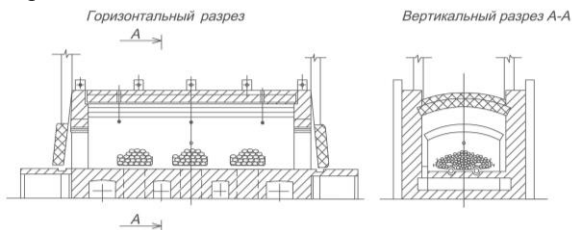


Рис. 1. Термическая печь с насыпной садкой

В инженерной практике при исследовании режимов работы термических садочных печей с целью совершенствования режимов их работы приходится рассчитывать температурные поля таких садок. Насыпную садку рассматривают как единое пористое тело [2], характеризующееся порозностью.

Задача исследования – формирование методики позволяющей, с одной стороны, унифицировать структуру, а с другой – учесть ее характерные особенности с последующим распространением подхода на аналогичные пористые тела.

Целью работы является доказательство возможности использования данного подхода для расчета температурных полей насыпных садок при их нагреве в термических садочных печах. Предлагается использовать фрактальный подход, который позволяет унифицировать внутреннюю структуру геометрии пористого тела на базе современных пакетов прикладных программ.

Заменим реальное пористое тело - садку фракталоподобной структурой, построенной на основе модели губки Менгера [3] (рис.2). Уход от классической модели губки Менгера обусловлен реальной геометрией насыпной садки. Учесть геометрию и структуру садки предлагается изменением соотношения  $\frac{a}{h}$ , где  $h$  - высота прямоугольного элемента во фрактальной модели (рис.3-а). Введем понятие коэффициента модификации модели:

$$k_m = \frac{a}{h} \quad (4)$$

Для классической модели губки Менгера  $k_m = 1$ .

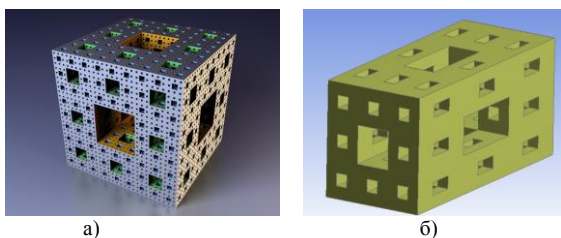


Рис.2. Фрактальная модель садки (а – губка Менгера; б - модифицированная губка Менгера)

Если насыпная садка размещена в рабочем пространстве печи на поддонах (рис.1), то при фиксированных значениях длины и ширины поддона, высота насыпного слоя может изменяться в зависимости от конкретных условий. Учтем это путем линейного разбиения исходного элемента по высоте на равные части. Так, для отношения  $\frac{a}{h} = 2$ , т.е.  $k_m = 2$  получим модель для двухслойного разбиения (рис.3-б),  $k_m = 3$  (рис.3-в).

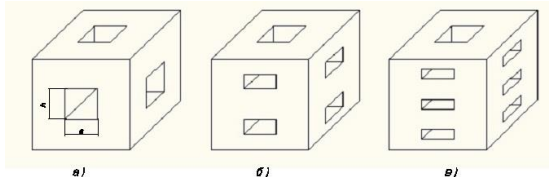


Рис. 3. Фракталоподобная модель сажки при одно – (а), двух – (б), и трех – (в) слойном разбиениях

Для замены реальной пористой структуры эквивалентной фракталоподобной моделью нам будет необходимо определить требуемый порядок итерации модели. Очевидно, что порядок итерации,  $m$ , будет зависеть от порозности структуры,  $f$ . Для построения зависимости  $m = f(f)$  была рассчитана порозность модели при нескольких порядках итерации. Искомая зависимость представлена на рис.4.

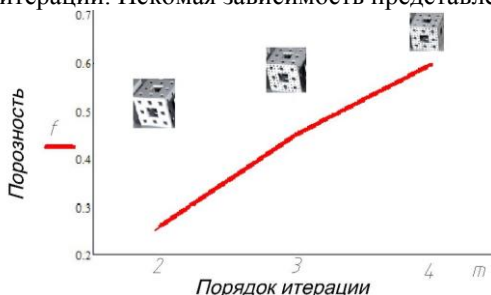


Рис.4. Зависимость порядка итерации модели от порозности структуры

В качестве параметра, учитывающего степень развития поверхности пор, примем эффективный размер -  $R_v$ , который представляет собой отношение объема тела к общей поверхности пор, заключенной в этот объем.

$$R_v = \frac{V}{F_{пор}} \quad (5)$$

В тепловом отношении параметр  $R_v$  будет определять эффективность пористой структуры (максимальная поверхность теплообмена заключена в минимальном объеме).

Графическая связь между эффективным размером,  $R_v$ , и числом разбиений исходного элемента модели, т.е. коэффициентом модификации,  $k_m$  приведена на рис.5. Зависимости представлены для трех порядков итерации.

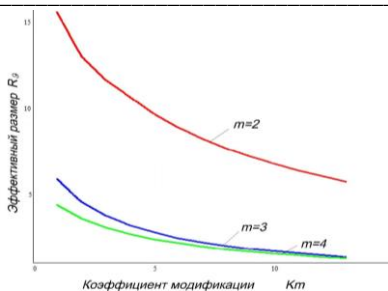


Рис.5. Зависимость эффективного размера  $R_v$  от коэффициента модификации  $k_m$  при различных порядках итерации  $m$

Совместное использование графиков (рис. 4 и 5) дает возможность корректно подобрать фрактальную модель реальной пористой структуры (насыпной садки). А именно, определив порозность реальной насыпной садки, по графику (рис.4) находим порядок итерации фрактальной модели. Затем по рис.5. предварительно рассчитав величину  $R_v$  для реальной садки, и зная порядок итерации, определяем коэффициент модификации, т. е. число разбиений (слоев) в модели.

Разработанный подход был опробован для моделирования температурного поля насыпной садки, нагреваемой в лабораторных условиях. В ходе эксперимента фиксировались температуры в четырех точках на поверхности садки и одной точке в центре в характерном сечении. Схема точек замера показана на рис.6. Используя вышеописанный подход, была создана фракталоподобная модель опытной садки. В качестве инструмента CAE – моделирования использовался 3D – пакет ANSYS–FLUENT, в рамках которого задача решалась численно. На рис.6 приведено сопоставление результатов полученных температурных полей нагреваемой экспериментальной насыпной садки и ее фракталоподобной модели.

Сопоставление результатов расчета и эксперимента показало, что погрешность вычисления температурного поля насыпной садки по предложенной методике не превышает 5%.

Выводы.

1. Предложена методика использования фрактальной геометрии для описания пористых тел различной структуры при их нагреве.
2. Результаты работы можно использовать для 3D – моделирования физических объектов при их нагреве.
3. Методика опробована для расчета температурных полей насыпных садок в термических печах.

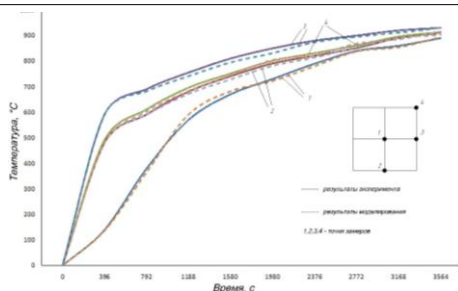


Рис.6. Сопоставление результатов моделирования нагрева насыпной садки с экспериментальными данными

### Библиографический список

1. Пуговкин А.У. Рециркуляционные пламенные печи [Текст]. / А.У. Пуговкин. – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.
2. Бровкин Л.А. К решению задач теплопроводности в пористом теле [Текст] / Л.А.Бровкин // ИЗВ. ВУЗов. Энергетика, 1987, №2. С.63-67.
3. Федер Е. Фракталы. [Текст]. / Е.Федер — М: Мир, 1991. –

*А.В. Андреев, студ.; рук. Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДВУХЗОННОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ И ПЕТЛЕВОГО РЕКУПЕРАТОРА В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Двухзонная методическая толкательная печь, предназначена для нагрева металла под обработку давлением на прокатном стане. В методической зоне металл постепенно прогревается до поступления в зону высоких температур (сварочную) во избежание возникновения чрезмерных термических напряжений. Методическая зона представляет собой противоточный теплообменник. Дымовые газы и металл движутся навстречу друг другу. Металл нагревается за счет теплоты дымовых газов, отходящих из зоны высоких температур. Методическая зона значительно увеличивает коэффициент использования топлива. В сварочной зоне осуществляется быстрый нагрев поверхности заготовки до конечной температуры. Однако даже после методической зоны продукты горения имеют достаточно высокую температуру. В целях наиболее полного использования теплоты уходящих газов в бо-

рове устанавливается петлевой рекуператор, обеспечивающий подогрев воздуха, идущего на горение.

Рассматривается совместная работа двухзонной методической печи и петлевого рекуператора из гладких стальных труб. Основным преимуществом конструкции петлевого рекуператора является свободная самокомпенсация температурного расширения каждой петли в отдельности, простота в эксплуатации, быстрый монтаж и демонтаж.

Целью работы является разработка геометрической модели рекуператора, постановка задачи теплообмена и тепловой расчет в вычислительном комплексе ANSYS. Анализ полученных результатов и оценка энергетической эффективности позволяет выбрать оптимальную конструкцию рекуператора.

В результате расчета одного ряда петлевых элементов получено температурное поле на входе в петлевой элемент и выходе из него.

Также получены векторные поля скоростей и давлений по всему объему петлевых элементов и части дымоотводящего канала, где установлен петлевой рекуператор[1]. Однако такая постановка задачи не позволяет учитывать влияние расположения петлевых элементов друг относительно друга.

Чтобы оценить влияние геометрии труб и их расположения друг относительно друга на интенсивность процесса теплообмена, выполнено построение блока рекуператора, состоящего из пятнадцати элементов. Геометрическое моделирование петлевого рекуператора, расположенного в дымоотводящем канале, выполнялось в пакете 3D моделирования SolidWorks. Построенная модель для расчета интегрировалась в вычислительный комплекс ANSYS (рис 1).

Для расчета данной модели построена тетраэдная сетка с переменной величиной ячейки для дымоотводящего канала и с постоянной для петлевых элементов (рис. 2). В качестве исходных данных применяется теплофизические свойства воздуха и продуктов горения, начальные температуры и расходы теплоносителей.

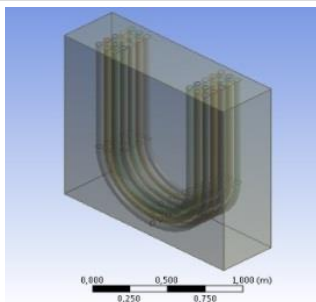


Рис. 1. Геометрическая модель пятнадцати петлевых элементов помещенных в дымоотводящий канал.

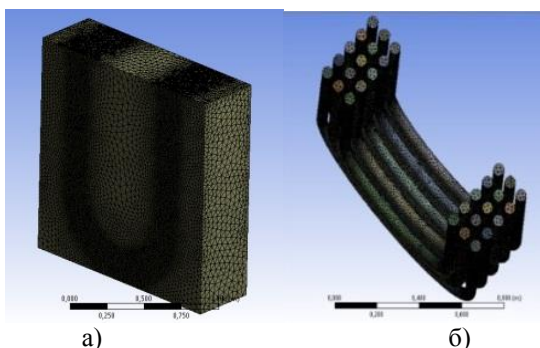


Рис. 2. Построенная расчетная сетка для дымоотводящего канала (а) и петлевых элементов (б)

Разработанную модель можно использовать для расчета режимов работы рекуператора совместно с двухзонной методической печью, а так же для оценки энергетической эффективности устройства не прибегая к постановке натурного эксперимента, что существенно сокращает затраты на подбор оборудования по известным входным и требуемым выходным параметрам.

#### Библиографический список

1. **Андреев А.В.**, Гусенкова Н.П. Моделирование тепловой работы петлевого рекуператора в вычислительном комплексе ANSYS и оценка его энергетической эффективности / Тепловые и ядерные технологии. Восьмая региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Энергия 2013. – Иваново: ФГБОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина». Т.2.-С.135-137

*И.А. Скворцов, студ.; рук. Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ В ПК ANSYS**

Кожухотрубные теплообменники применяются для осуществления теплообмена и термохимических процессов между теплоносителями (жидкостями, газами и парами)

Теплообменный аппарат 380ТН-Г-6-М8-О-19-5330-1-АЭС предназначен для охлаждения раствора щелочи, циркулирующего в замкнутом контуре.

В целях оценки температурных полей в рабочем пространстве, а так же поля скоростей и поля давлений требуется выполнить моделирование и анализ процессов, протекающих в рабочем пространстве аппарата

В связи с большой функциональностью, наличием отдельных компонентов и возможности широкой интеграции с САД-системами для моделирования теплообменного аппарата был выбран программный комплекс ANSYS

Процесс моделирования производился в следующем порядке:

1. Разработана трехмерная геометрическая модель данного теплообменника, соответствующая реальным параметрам. Построение сделано в разделе «DesingModeler(DM)» На основании того, что теплообменник является симметричным, при построении геометрической модели рассматривалась половина теплообменника, получившаяся при продольном разрезе (в целях уменьшения количества узлов расчетной сетки и, следовательно, для упрощения расчета)

2. В разделе «Mesh» была выбрана пространственная сетка типа «cutcell» с минимальным размером 3мм.

3. Для задания граничных условий и условий протекания процесса использовался раздел «setur». Были заданы: массовые расходы теплоносителей, температуры теплоносителей на входе, кроме того, была выбрана модель турбулентности(k-epsilon)и заданы идеальные условия теплообмена.

4. Далее производился расчет, в результате которого в разделе «results» можно оценить температурное поле, поле скоростей, поле давлений и пр.

5. Для увеличения коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве аппарата, в конструкцию были установлены поперечные перегородки



Анализ проведенного расчета показал, что при установке перегородок увеличивается скорость движения теплоносителя в межтрубном пространстве и теплообмен становится более интенсивным. Таким образом, габаритные размеры ТА могут быть уменьшены при неизменности тепловой мощности аппарата. Это приведет к уменьшению его металлоёмкости и, следовательно, затрат на его производство. С другой стороны, установка дополнительных перегородок приведет к увеличению гидравлического сопротивления агрегата и, следовательно, мощности, используемой для перекачки среды.

**Вывод:** С помощью разработанной модели теплообменного аппарата можно проводить численные эксперименты в целях оптимизации работы теплообменника, выявления наиболее опасных участков с максимальной скоростью и давлением, для последующего их устранения, а так же с целью исследования влияния конструктивных особенностей на интенсивность теплообмена.

*И.А. Скворцов, студ.; рук. Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ им. Ленина, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КЛАДКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ В ПЕРИОД ЗАГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ

Камерная термическая печь с выдвижным подом работает в периодическом режиме. Металл нагревается в печи садками. Цикл работы печи состоит из трех периодов: нагрева, выдержки и загрузки-выгрузки.

В первом и втором периодах происходит металла вместе с печью. В период загрузки-выгрузки металл на выкатном поде выдвигается из печи для дальнейшего охлаждения на воздухе.

Цель расчета сопряженной задачи теплообмена в период загрузки-выгрузки заключается в определении температурного поля кладки, так как оно является исходным условием для расчета следующего цикла работы печи.

Для того чтобы модель соответствовала реальным параметрам в ней была учтена зависимость теплофизических свойств материала и коэффициентов теплоотдачи от температуры. При работе печи в состоянии циклического равновесия, кладку печи можно рассматривать как пластину при несимметричном нагреве с известным начальным распределением температуры. На поверхности кладки внутри рабоче-

го пространства и снаружи печи задаются условия свободноконвективного и радиационного теплообмена.

Сопряженная задача теплообмена была решена методом конечных разностей с учетом переменных теплофизических свойств воздуха и материала кладки печи

Задача сопряженного теплообмена описывается системой уравнений:

Уравнение теплопроводности:

$$C_{\text{кл}}(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x}$$

Начальные условия:

$$T(x, 0) = f(T)$$

Граничные условия:

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \sigma_{\text{пр}} [T^4(0, \tau) - T_{\text{в}}^4] + \alpha [T(0, \tau) - T_{\text{в}}]$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \sigma_{\text{пр}} [T^4(R, \tau) - T_{\text{в}}^4] + \alpha [T(R, \tau) - T_{\text{в}}]$$

$$x \in [0; R] \quad \tau \in [0; \tau_{\text{к}}]$$

Условия однозначности:

$$\lambda_{\text{кл}} = f(T) \quad C_{\text{кл}} = f(T) \quad \rho_{\text{кл}} = f(T)$$

$$\lambda_{\text{в}} = f(T) \quad C_{\text{в}} = f(T) \quad \rho_{\text{в}} = f(T) \quad \nu_{\text{в}} = f(T)$$

**Вывод:** Разработанная модель позволяет определить температурное поле кладки печи в конце процесса загрузки-выгрузки, что позволяет корректно рассчитать следующий цикл нагрева, так как данное поле является начальным для этого цикла. Верификация модели проводилась по результатам физического эксперимента.

#### Библиографический список

1. Кривандин В. А., Марков Б. Л. *Металлургические печи*. М.: Металлургия. 1977.
2. Самарский А. А. *Численные методы: учебное пособие для вузов* / А. А. Самарский, А. В. Гулин.—М.: Наука, 1989.
3. *Тепловые и атомные электрические станции*. Справочник. Под ред. В. А. Григорьева и В. М.Зорина. М.: Энергоатомиздат. 1989.

*А.В. Ланкевич, асп.; рук. И.А. Чусов, к.т.н., доц.  
(ИАТЭ, г. Обнинск)*

## **НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КРУГЛОЙ ТРУБЕ И В СЕМИСТЕРЖНЕВОЙ СБОРКЕ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ РАБОЧЕГО ТЕЛА**

Российский подход к созданию перспективного реактора на сверхкритических параметрах (СКП) основан на использовании опыта конструирования хорошо отработанного корпусного реактора типа ВВЭР и эксплуатации ТЭС. В настоящее время рассматривают несколько вариантов схем циркуляции теплоносителя в объеме активной зоны и, одновременно, несколько видов теплоносителя, среди которых наиболее перспективными считаются: сверхкритическая вода, сверхкритический диоксид углерода и некоторые типы фторорганических рабочих веществ.

Использование теплоносителей и рабочих тел на СКП позволяет увеличить к.п.д. установки вплоть до 44 – 48%. Однако переход на СКП в атомной энергетике требует решения многих проблем технического и технологического характера.

В теплофизическом плане одной из важнейших является проблема надежного обоснования теплоотдачи теплоносителя СКП в активной зоне и определения безопасной области тепловых нагрузок, в которой исключается возможность перехода в режим ухудшенной теплоотдачи, способный привести к аварии реактора. Особенности теплоотдачи в потоке с околоскритическими параметрами состояния связаны с необычно сильным изменением физических свойств при малейшихращениях давления и температуры.

Плотность воды при переходе к СКП уменьшается примерно в три раза, значительно уменьшаются вязкость, коэффициент теплопроводности и т.д. В околоскритической точке коэффициент объемного термического расширения, теплоемкость, число Прандтля имеют характерные максимумы. В качестве иллюстрации на рисунках 1 и 2 и приведены характерные распределения теплоемкости воды и углекислого газа при переходе к сверхкритическому состоянию.

За последние 50 лет было выполнено сравнительно небольшое число экспериментальных работ по теплообмену с водой и гелием в условиях свободной и вынужденной конвекции при сверхкритических параметрах состояния. Параллельно изучался также теплообмен при

СКП и в других средах (криогенные жидкости, диоксид углерода, фреоны).

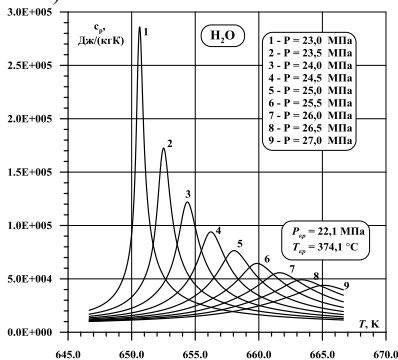


Рис. 1. Изменение теплоемкости  $H_2O$  в окрестности псевдокритической точки

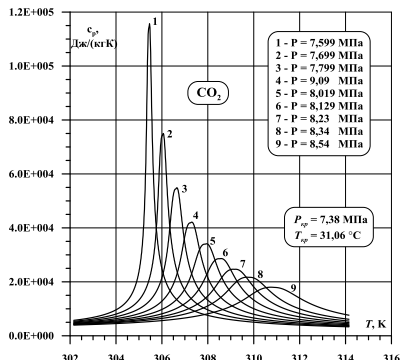


Рис. 2. Изменение теплоемкости  $CO_2$  в окрестности псевдокритической точки

Сложность, трудоемкость и высокая стоимость проведения экспериментов с гладкими трубами и пучками стержней на СКП являются, видимо главными сдерживающими факторами при проведении опытных работ.

Первые экспериментальные работы, по течению теплоносителя с СКП в нашей стране были выполнены еще в 50-х годах прошлого столетия. Уже в это время было отмечено, что течение теплоносителя с СКП обладает рядом специфических свойств:

- 1) сильной немонотонной зависимостью теплоемкости, плотности, коэффициента объёмного расширения и числа Прандтля от температуры;
- 2) значительным ускорением потока по длине канала;
- 3) большим вкладом естественной конвекции в общий механизм перемешивания, обусловленный действием сил плавучести;
- 4) наличием области ухудшенного теплообмена.

Именно эти обстоятельства и являются основной причиной необходимости верификации расчетных кодов.

Отметим, что практически все работы зарубежных авторов [1- 4], в которых приводятся результаты численных расчетов течений с СКП, касаются вычислений, в которых режим с возникновением зоны ухудшенного теплообмена намеренно или ненамеренно исключается. Однако, по мнению авторов настоящей работы, именно течения такого типа могут выступить «лакмусовой бумажкой» для оценки качества расчета тем или иным расчетным кодом.

На рисунке 3 приведены результаты измерений по длине четырехметровой трубы с установленными на ее внешней поверхности 82-мя термодатчиками. В качестве теплоносителя использовалась дистиллированная вода. Из рисунка хорошо видно, что в распределении температуры имеется область ухудшенного теплообмена на существование которой указывает значительное увеличение температуры стенки.

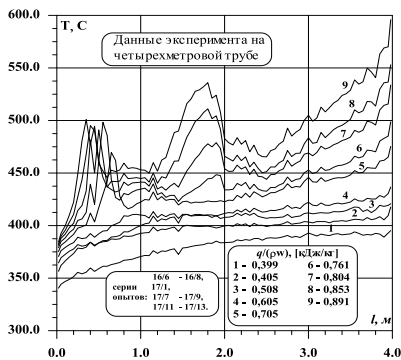


Рис. 3. Распределение температуры стенки по высоте четырехметровой трубы

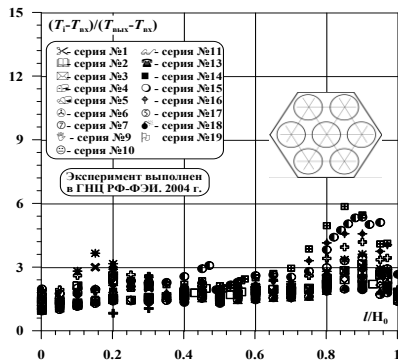


Рис. 4. Распределение температуры на внутренней поверхности центрального ТВЭЛА

На рисунке 4 приведены обобщенные результаты экспериментального исследования теплообмена при сверхкритических параметрах теплоносителя на семи стержневой сборке с диаметром трубок 9,5 мм, шагом решетки 11,3 мм и длиной обогрева 1000 мм. В сборке была установлена одна дистанционирующая решетка. В экспериментах в зависимости от мощности, расхода и давления определялись:

- распределения температуры оболочки имитаторов ТВЭЛов по длине и периметру;
- подогрев теплоносителя в ячейках модели;
- распределение температуры оболочки имитатора в районе дистанционирующей решетки.

В качестве теплоносителя использовался фреон-12. Методика проведения экспериментов на фреоне-12 вместо воды при СКП основана на теории подобия и рассмотрена в работе [5]. Неоднородность температуры теплоносителя по сечению и длине канала с околокритическими параметрами состояния приводят к коренным изменениям структуры потока. Эти изменения связаны в первую очередь с чувствительностью физических свойств к изменению температуры в потоке с СКП.

Другая особенность околокритических жидкостей – существенное влияние гравитационных сил на теплообмен даже при незначительных неоднородностях температуры. Критерием влияния свободной конвекции на интенсивность смешанной конвекции является число Рэлея. По мере приближения к критической точке коэффициент объемного расширения  $\beta$  увеличивается на несколько порядков, а температуропроводность  $\alpha$  уменьшается. В результате величина числа  $Ra$  резко увеличивается, что означает увеличение влияния подъемных сил на теплообмен.

#### Библиографический список

1. **Cheng X.**, Kuang B., Yang Y.H. Numerical analysis of heat transfer in supercritical water cooled flow channel. Nuclear Engineering and Design. 237 (2007) p. 240–252.
2. **Cheng X.**, Laurien E., Yang Y.H. CFD Analysis of Heat Transfer in Supercritical Water in Different Flow Channels. Proceedings of GLOBAL 2005 Tsukuba, Japan, Oct., 2005 Paper No. 369.
3. **Misawa T.**, Nakatsuka T., Yoshida H., Takase K. Numerical Analysis of Heat Transfer Experiment of Supercritical Pressure Water and Freon in a Rod bundle. 16th Pacific Basin Nuclear Conference (16PBNC), Aomori, Japan, Oct. 13-18, 2008, Paper ID P16P1065
4. **Misawa N.**, Yoshida H., Tamai H., Takase K. Numerical analysis of heat transfer test of supercritical water in a tube using the three-dimensional two-fluid model code. Proceedings of the 16th International Conference on Nuclear Engineering. ICONE16-48690, May 11-15, 2008, Orlando, Florida, USA.
5. **Шицман М.Е.** Ухудшенные режимы при закритических давлениях. – Теплофизика высоких температур. – 1963, т. 1, №2, с. 2

*С.Н.Баринов, студ., рук. С.В. Веретенников, к.т.н., доц.  
(РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ

Закрутка потока как один из способов интенсификации теплообмена активно используется в настоящее время во многих областях промышленности и машиностроении. Циклонные каналы и вихревые энергоразделители используются в теплообменных и холодильных аппаратах, вакуум-насосах, в различных системах ГТУ (например, циклонно-вихревые системы охлаждения лопаток турбин). Однако при значительном числе публикаций, посвященных экспериментальным исследованиям и численному моделированию процессов теплообмену в циклонных каналах, данных о закономерностях теплообмена в вихревых энергоразделителях очень мало. А так как эффективность применения вихревых труб в промышленных установках зависит от пра-

вильно определенных геометрических и режимных параметров, требуется проведение дополнительных как численных, так и экспериментальных исследований.

При использовании численных расчетов для моделирования физических процессов необходимо учитывать влияние большого числа параметров расчета на его результаты. К таким параметрам относятся тип сетки (структурированная, неструктурированная), число элементов расчетной области, соответствие этих элементов параметрам качества и т.д. Так как на данный момент не существует строгих зависимостей, позволивших учитывать отклонения результатов расчета от вышеперечисленных параметров, перед проведением численного моделирования для каждой конкретной геометрии необходим ряд предварительных расчетов. В результате их проведения должно быть установлено достаточное качество сетки для получения результатов с необходимой точностью. В представленной работе изучена зависимость некоторых результатов расчета от параметров неструктурированной тетрагональной сетки. В представленной работе расчетные области построены в программе Unigraphics, сетки – в ICEM CFD, численное моделирование осуществлялось с помощью программного пакета ANSYS CFX. Для изучения выбраны процессы сопряженного теплообмена в вихревой трубе. В первой серии расчетов были построены несколько сеток, отличающихся только числом элементов. Построены графики зависимости параметров на входе и выходах от числа элементов расчетной области. Также приведен пример нефизического результата расчета (изменение знака плотности теплового потока на внутренних каналах камеры энергоразделения и патрубка охлажденного потока) решения задачи сопряженного теплообмена и методы исправления сетки для получения адекватных результатов.

Геометрические параметры вихревой трубы были взяты из работы [1]. При расчетах использовалась неструктурированная тетрагональная сетка без призматического подслоя. Предварительно проведены расчёты на нескольких сетках, отличающихся количеством элементов, при одинаковых граничных условиях для определения необходимой степени дискретизации расчетной области. В этой серии расчетов перестраивалась сетка внутренних каналов; сетка, построенная на геометрию стенок и наружного воздуха, оставалась неизменной.

Были построены три варианта сетки внутренних каналов (три сетки, количество элементов равно 294098; 575965; 868784). В различных источниках приводятся несколько отличающиеся требования к качеству сетки. В основном это относится к значению минимального угла

элемента построения сетки:  $>14^0$ ,  $>10^0$  и в некоторой литературе приводится значение  $>6^0$  с примечанием «в некоторых случаях».

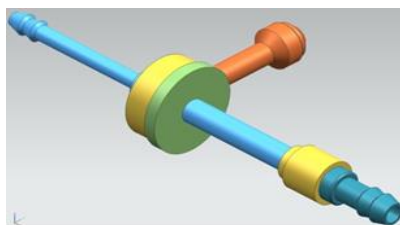


Рис. 1. Геометрическая модель противоточной вихревой трубы [1]

Значение показателя Determinant и Quality должны быть больше нуля. На этапе построения неструктурированной сетки с помощью автоматического сглаживания было достигнуто значения этих показателей качества сетки (Min Angle  $>140$ ). На рисунке 2 а) и б) представлены зависимости массового расхода  $G=G(n)$  и полной энтальпии  $I^*=I^*(n)$  на входе и обоих выходах от числа элементов сетки ( $n$  – число элементов сетки внутренних каналов). Из рисунков видно, что массовый расход воздуха и полная энтальпия зависит от степени дискретизации расчетной сетки для данной геометрии в диапазоне  $n$  меньше 868784. Например, значения массового расхода на входе при  $n=575965$  на 1,8 % больше массового расхода на входе при  $n=294098$ , а при  $n=868784$  на 8,3 %. Это свидетельствует о необходимости дальнейшей дискретизации сетки для достижения относительной независимости результатов расчета от количества элементов с необходимой точностью.

При обработке результатов расчета была обнаружена смена знака плотности теплового потока на поверхности внутренних каналов камеры энергоразделения и патрубка охлажденного потока вблизи закручивающего устройства (рис. 3). Нормаль вектора плотности теплового потока направлена внутрь расчетной области. Если тепловой поток сонаправлен с этим вектором он имеет знак «+», в противном случае – знак «-». Учитывая это правило, из рисунка 3 можно сделать вывод: нефизическое решение получено на участке от закручивающего устройства до сечения, где меняется знак. Именно в этой области не выполняется один из условий качества сетки при использовании SST модели турбулентности (параметр  $YPlus < 1 \dots 2$ ).



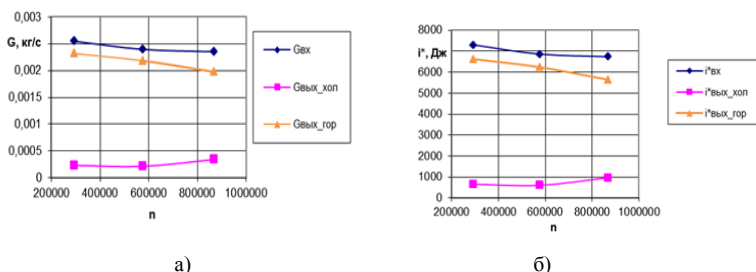


Рис. 2. Зависимости:  $G=G(n)$  а);  $I^*=I^*(n)$  б)

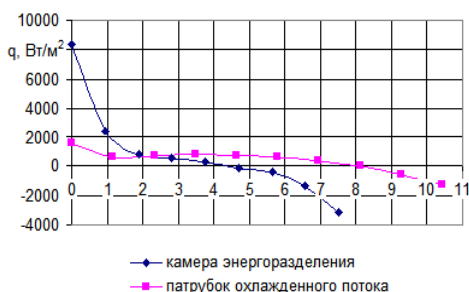


Рис. 3. Распределение плотности теплового потока по длине (длина представлена в калибрах)

В различных источниках приводится информация о том, что оптимальные значения параметра Min Angle для неструктурированной сетки без призматического подслоя и при наличии слоя одинаковы. Значение показателя Determinant и Quality должны быть больше нуля. Для таких сеток не рекомендуется автоматическое сглаживание, по другим данным сглаживать сетки с призматическим подслоем вообще не рекомендуется (возникают элементы с отрицательным объёмом).

Перестройка исходной сетки, изменение параметров построения призматического слоя (число слоёв, толщина первого слоя и др). Применялось также разделение первого и второго слоёв от стенки после построения призматического подслоя с помощью операции Split Prism на пять и два слоёв соответственно. При импорте геометрии в программе ICEM CFD в меню Settings (команда Model) указывалось значение Tolerance, соответствующее минимальному размеру элемента (в данном случае  $10^{-5}$ ). Однако эти мероприятия не устранили смену знака теплового потока на внутренней поверхности камеры энергоразделения. Элементы, не соответствующие параметрам качества, локали-

зованы в месте стыковки камеры энергоразделения и сопловых вводов закручивающего устройства. Сопловые вводы в исследуемой геометрии вихревой трубы тангенциальные, поэтому плоскости сопел образуют весьма малый угол с торцевой (в виде кольца) поверхностью камеры энергоразделения. «Некачественные» элементы также находятся на другом конце камеры энергоразделения, на месте её стыка с диффузором.

Получить адекватное физическое решение удалось только после разбиения исходной геометрии на примитивные геометрические тела (цилиндр, труба и другие), отдельного их импорта в ICEM CFD, а затем их «сшивки» в препроцессоре. Кроме того, пришлось упростить геометрию (в частности сопловые вводы) при сохранении основных геометрических соотношений для вихревой трубы (диаметр камеры энергоразделения, её относительная длина и т.д.).

#### Библиографический список

1. Пиралишвили, Ш. А., Веретенников, С.В. Вихревой эффект и интенсификация процессов тепло – и массообмена в элементах энергетической техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С. П. Королева. 2011. № 3, ч. 1. С. 241-247.

*А.А.Соколова, студ.; рук. Ш.А. Пиралишвили, д.т.н., проф.  
(РГАТУ, г. Рыбинск)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПРОЦЕСС ЭНЕРГОРАЗДЕЛЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Суть эффекта энергоразделения в вихревой трубе состоит в том, что при подаче газа внутрь в виде закрученного потока, он разделяется на приосевой и периферийный, которые отличаются друг от друга и от исходного по величине полной энтальпии. Со стороны дросселя из вихревой трубы уходят подогретые массы газа ( $\Delta T_r = 10,5 \text{ K}$ ), из диафрагмы – охлажденные ( $\Delta T_x = 13 \text{ K}$ ).



Рис.1. Энергоразделение в противоточной вихревой трубе  
( $d_1 = 20 \text{ мм}$ ;  $\bar{L} = 9$ ;  $P_1^* = 0,4 \text{ МПа}$ ;  $F_1^* = 0,1$ ;  $F_2^* = 0,5$ ,  $\mu = 0,3$ )

По своим функциональным признакам вихревой энергоразделитель является естественным воздухо- воздушным теплообменником, в котором рабочий газ служит теплоносителем и акцептором тепла. К тому же, вихревая труба имеет

высокий коэффициент теплоотдачи за счет высокоскоростного интенсивно закрученного течения и поличастотных турбулентных пульсаций в потоке [1]. Закрученный поток газа интенсифицирует процесс теплообмена, обеспечивая сравнительно высокое значение коэффициента теплоотдачи по длине канала ( $\alpha_{CP} = 500 \dots 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ).

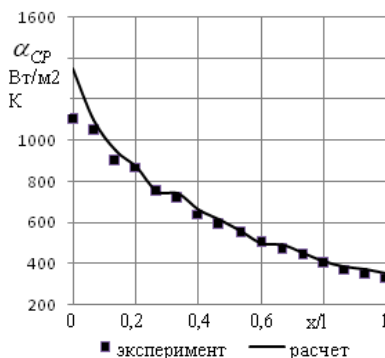


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от длины камеры энергоразделения

Известно, что вихревая труба с внутренним диаметром 20 мм, имеющая рационально оформленные элементы проточной части, обладает более высокой энергетической эффективностью, чем у геометрически подобных ей образцов большего и меньшего диаметров [2], поэтому в данной работе она и выбрана в качестве объекта исследования.

В ходе численного моделирования было проведено исследование зависимости коэффициента теплоотдачи от длины камеры энергоразделения. Наблюдается резкое его снижение в направлении от соплового ввода к дросселю (от 1200 до 300 Вт/(м<sup>2</sup>\*К)).

Наиболее интенсивный теплообмен наблюдается в зоне повышенных значений разности температур газа на стенке трубы и на ее оси.

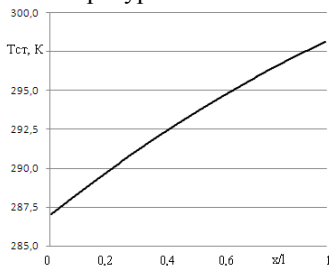


Рис. 3. Повышение температуры периферийного вихря по длине вихревой трубы

Таким образом, через начальный цилиндрический участок стенки вихревой трубы, составляющий примерно 20% всей поверхности теп-

лообмена, передается 40—50% теплоты. Отсюда следует, что увеличение длины камеры энергоразделения не приведет к возрастанию количества теплоты, отводимой от газа. Оптимальная длина камеры энергоразделения – 9 калибров.

Для исследования влияния теплообмена на эффект энергоразделения рассматриваем вихревую трубу в адиабатных условиях и в условиях вынужденной конвекции – при охлаждении модели водой.

В неохлаждаемых трубах увеличение доли охлажденного потока  $\mu$  сопровождается ростом температуры газа в периферийном слое по всей длине камеры энергоразделения. Это вызвано увеличением энергии, передаваемой от приосевого потока к периферийному.

Отвод теплоты охлаждающей средой приводит к снижению температуры газа в периферийных слоях закрученного потока. Вследствие этого снижается температура газа, поступающего с периферии в приосевую область, т. е. снижается температура газа, формирующего приосевую вихрь, что при прочих равных условиях позволяет увеличить холодопроизводительность вихревой трубы.

#### Библиографический список

1. **Меркулов, А. П.** Вихревой эффект и его применение в технике [Текст] / А. П. Меркулов. – М.: Машиностроение, 1969. – 176 с.

2. **Пиралишвили, Ш.А.** Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения [Текст] / Ш.А. Пиралишвили, В.М. Поляев, М.Н. Сергеев. – М.: УНЦП Энергомаш, 2000. – 412 с.

## СЕКЦИЯ 11

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНОСФЕРЕ

*Председатель – д. т. н., проф. А.К. Соколов*  
*Секретарь – студ. Н.В. Черемисова*

*Ю.А. Иванкова, М.Г. Адамян, студенты;*  
*рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ DRUPAL ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕРНЕТ РЕСУРСА

Drupal – система управления контентом (CMS), созданная группой энтузиастов со всего мира. Она предназначена для создания сайтов разной сложности и назначения. Интерфейс CMS Drupal предоставляет возможность управлять сайтами без специальных навыков и знаний HTML, верстки и языков программирования.

Система состоит из большого количества модулей, что позволяет создавать разнообразные сайты, не похожие на другие, исходя лишь из индивидуальных предпочтений заказчика. С их помощью можно существенно расширить функционал сайта и даже в корне поменять его внешний вид. Система визуального оформления сайта на Drupal позволяет настроить введение необходимой информации именно так, как удобно вам, к тому же есть возможность создавать собственные информационные поля внутри созданного содержимого. Все модули системы тщательно проверяются на безопасность командой разработчиков, это позволяет выявлять недостатки надежности CMS Drupal в кратчайшие сроки. Так же существенным плюсом системы является невысокая стоимость создания сайта. Это обуславливается наличием большого количества сборок и готовых модулей, что позволяет будущему владельцу свести затраты к минимуму.

По сравнению с другими системами управления контентом, такими как Joomla и Wordpress, Drupal обладает большей производительностью, быстродействием и гибкостью, в плане создания уникальных конфигураций и реализации функционала любой сложности. Неоспорим тот факт, что выбранная система несколько

сложнее своих аналогов и требует больше времени для изучения, но ее преимущества в полной мере объясняют правильность выбора.

Использование Drupal как платформы для создания портала по техногенной безопасности обуславливается тем, что предполагается наличие разноплановых блоков, нестандартное их размещение на странице и др. Множественные ссылки, видео и изображения позволяют сделать сайт полезным и информативным. Все это можно реализовать с помощью системы Drupal.

#### Библиографический список.

1. **Drupal** (Друпал) // Википедия. Свободная энциклопедия. 2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Drupal> (дата обращения: 03.03.2014).

*Ю.В. Кумачева, студ.; рук. В.П. Строев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В данной работе рассказывается об оценке воздействия электрического тока на человека, что существует три вида его воздействия (тепловое, электрохимическое и биологическое). Так же указаны виды травм от электрического тока, какими они могут быть и к каким последствиям приводят, какой ток наиболее опасен. Рассмотрены факторы, которые влияют на исход электротравмы, такие как сила тока, время его воздействия на человека, какие пути прохождения тока через человека наиболее опасны, род тока, сопротивление тела человека, отсутствие кожных повреждений и как влияют условия внешней среды. Так же говорится о том, какие существуют методы и средства защиты от поражения электрическим током, как нужно ограждать электрическую установку, какие напряжения лучше применить при работе с ней. Электрические сети нужно разделять на участки, токоведущие части нужно блокировать, что бы работник случайно не касался проводов, находящихся под напряжением, использование защитных заземления и зануления, их устройство и как они работают, и выравнивание потенциалов корпусов оборудования. В данной работе приведены примеры средств индивидуальной защиты, их подразделяют на изолирующие, ограждающие и вспомогательные, их примеры и как правильно их использовать. И в заключении приведены методики расчета средств защиты, какие исходные данные и формулы используются для этого.

*А.М. Сухорукова, студ.; рук. Е.А. Пышиненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИЧИНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ**

Климатическая система Земли – одна из самых сложных для исследования физических систем. Климат формируется под влиянием ряда факторов и в первую очередь под воздействием солнечной радиации, атмосферной циркуляции, условий рельефа, распределения океанов и суши и других, роль которых далеко не одинакова для различных физико-географических регионов. Климат данной местности можно определить, как характерный для нее многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, ее преобразованиями в деятельном слое земной поверхности и связанной с ними циркуляцией атмосферы и морей, океанов.

Современные представления о климате складываются на основе статистической обработки результатов многолетних наблюдений за погодой с использованием описания в терминах средних, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин и частот явлений за выбранный период времени. Все эти дескриптивные статистики называются климатическими переменными. В качестве стандартного периода для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной метеорологической организации (ВМО) используется период в три десятилетия. В настоящее время это 1961–2000 гг.

Главными факторами, ответственными за возникновение определенных климатических условий на Земле, являются: величина солнечной радиации, атмосферное давление и теплоемкость земной атмосферы, определяемая составом и влажностью воздуха, направление и сила ветра, температура воздуха, количество облаков и осадков. А наклон оси собственного вращения Земли (по отношению к эклиптике) предопределяет смену времен года, зональность и контрастность климата. Из всех планет Солнечной системы только Земля обладает уникальной атмосферой и гидросферой, благоприятной для развития на земной поверхности высших форм жизни. Определяется это удачными стечениями многих обстоятельств: и тем, что Солнце "спокойная" звезда, и тем, что Земля расположена на оптимальном от него расстоянии, и тем, что у нее имеется спутник – Луна, и химическим составом первичной Земли и многими другими причинами.

Продолжительность наблюдений на основных метеорологических станциях составляет немногим более 100 лет, лишь на некоторых стан-

циях (около двух десятков во всем мире) наблюдения ведутся 150–250 лет. В связи с этим для исследования и установления закономерностей внутривековых, вековых, сверхвековых колебаний климата используются косвенные показатели, содержащие информацию о климатических условиях прошлого. Для реконструкции климатических условий или отдельных показателей климата используют сведения, содержащиеся в дендрохронологических, фитоиндикационных, исторических, гляциологических материалах.

Прошлые десятилетия и события последнего времени наглядно показали, что всемирный климат изменяется и приводит к негативным экологическим изменениям, нарушающим функционирование различных инфраструктур Земли и увеличивающим риски угроз здоровью и благосостоянию населения. Сейчас не существует общепринятого мнения о причинах изменений и колебаний климата как для современной эпохи, так и для геологического прошлого. В настоящее время специалисты-климатологи продолжают спорить о причинах изменения климата.

Ученые разделились на две группы.

*Первая группа ученых* – сравнительно малочисленная – утверждает, что виновника в происходящих глобальных изменениях на нашей планете надо искать в космосе, и, скорее всего, в ближайшие годы на Земле начнется похолодание. Проведя исследования по косвенным данным, специалисты выяснили, что теплый климат на Земле – настоящая редкость и составляет примерно 10 % от ледникового цикла в сто тысяч лет, к тому же человечество уже прожило в теплом цикле лишние 1400 лет. Ученые утверждают, что впереди непременно последует глобальное понижение температуры, в результате чего нас ждет совершенно другая климатическая картина.

Ученые говорят о том, что основными факторами, способными влиять на климат Земли, были, есть и будут естественные факторы: *геофизические* факторы (ландшафтные колебания, перестройка океанических течений, вулканическая деятельность), и *астрономические* факторы (переполусовка земного магнитного поля, цикличность поведения Солнца, колебания наклона земной оси, изменение светимости Солнца). Согласно проведенным учеными этой группы исследованиям главнейшим и доминирующим первоисточником энергии, приводящим в движение весь механизм изменения климатической системы и геофизических эффектов, а также оказывающим определенное влияние на тепловой режим Земли является Солнце – двухвековая вариация интенсивности поступающего на Землю потока излучаемой Солнцем энергии.



Поскольку размер Солнца, достигнув максимума в конце 1980-х гг., с начала 1990-х гг. стал уменьшаться, то непременно следует ожидать глубокого похолодания. С начала 1990-х гг. постепенно начали снижаться как амплитуда 11-летних вариаций солнечной постоянной, так и уровень ее двухвековой составляющей. Наша планета, получив и накопив в течение практически всего XX века аномально повышенную энергию от Солнца, с начала 1990-х гг. стала постепенно ее отдавать. Однако, благодаря термической инерции Мирового океана, последние годы планета находилась в равновесии за счет "накопленного" в XX веке тепла. В настоящее время этот эффект полностью элиминировался, и земной климат начал медленно меняться в сторону снижения среднегодовых температур. С 2003 г. начали остывать верхние слои Мирового океана. Накопленное Мировым океаном тепло к этому времени, к сожалению, подошло к концу.

Наша планета в течение последних 12,5 лет испытывала дефицит солнечной энергии, сравнимый с полной проектной мощностью более 25 млн. атомных электростанций типа ЛАЭС (Ленинградская атомная электростанция). Следовательно, сейчас наша планета живет в условиях остывающего Солнца. Уменьшение амплитуды 11-летних вариаций потока солнечной радиации продолжится и дальше в течение 24...26 солнечных циклов. Двухвековой цикл интенсивности потока солнечного излучения и амплитуда интенсивности ее 11-летних вариаций достигнут своего минимума ориентировочно в 2042 г.  $\pm$  11 лет, что неизбежно приведет к глобальному понижению температуры до состояния глубокого похолодания климата - очередному 19-му за последние 7500 лет малому ледниковому периоду, непременно последующему за естественным глобальным потеплением. Термическая инерция Мирового океана отдалит процесс глубокого остывания планеты Земля на  $17 \pm 5$  лет, и 19-й малый ледниковый период наступит ориентировочно в 2050–2060 ( $\pm 11$ ) годах.

Такое состояние глубокого похолодания продлится ориентировочно около 45–60 лет в течение четырех–шести малых циклов, и после этого периода обязательно наступит глобальное потепление.

*Вторая группа ученых* – самая многочисленная – уверяет, что климат Земли теплеет и происходит это под влиянием антропогенных факторов. К таким факторам, влияющим на глобальный климат Земли, научный мир относит изменение альбедо земной поверхности с ростом индустрии. Когда на полюсах больше льдов и снега, то они сильнее отражают солнечную радиацию и становится заметно холоднее. С ростом индустрии отражательная способность поверхности Земли заметно меняется, тепло отражается меньше, а поглощается больше.

В качестве объяснения потепления выдвигается также наблюдаемое значительное увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере за последнее время. Парниковые газы способствуют уменьшению теплового излучения Земли в космическое пространство, что приводит к увеличению средней глобальной температуры. Эта точка зрения получила официальную поддержку Межправительственной группы экспертов ООН по изменениям климата (МГЭИК).

Потепление климатической системы – неоспоримый факт, что очевидно из наблюдений за повышением глобальной средней температуры воздуха и океана, широко распространенным таянием снега и льда, повышением глобального среднего уровня моря. Одиннадцать лет из периода 1995–2006 гг. попали в число 12 самых теплых лет по результатам инструментальных наблюдений глобальной средней температуры (с 1850 г.).

Рост температуры наблюдался по всему земному шару, причем он более значителен в высоких северных широтах. Средние температуры в Арктике за последние 100 лет повышались темпами, почти вдвое превышающими глобальные средние. Районы суши нагревались быстрее, чем океаны. Наблюдения, проводимые с 1961 г., показывают, что температура Мирового океана повысилась до глубин минимум в 3000 м и что океан поглощает более 80 % теплоты, дополнительно поступающей в климатическую систему. Новые анализы шарозондовых и спутниковых измерений температуры в нижних и средних слоях тропосферы показывают темпы потепления, схожие с теми, которые наблюдались по приземной температуре. Повышение уровня моря согласуется с потеплением.

Очевидно, что климат на Земле меняется, меняется и будет меняться. Хозяйственная деятельность человека оказывает значительное влияние на климатическую систему и на окружающую среду в целом.

*Ю.А.Тиханова, студ.; рук. В.П.Строев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА КЦ ТЭЦ**

На ТЭЦ для сотрудников КЦ организованы социально-бытовые помещения: туалетные, душевые комнаты, а так же раздевалки. Они располагаются в административном помещении котельного цеха. Душевые комнаты способствуют удалению вредных химических веществ с кожи тела, а так же снижает возможность попадания вредных веществ в организм. В помещении раздевалки для каждого сотрудника предназначен свой шкафчик для хранения вещей. Надлежащие условия безопасного хранения одежды и других личных вещей так же в большой мере помогают поддержанию личной гигиены на производстве.

Рабочее место оператора КЦ находится в специально оборудованном помещении – кабине оператора. Кабина оператора находится в зоне наилучшего видения информационного поля щита управления. В кабине оператора расположены стол, стул, два монитора, имеется кондиционер и обогреватель.

На щите управления сконцентрировано большое количество контрольных приборов, сигнальных устройств, регуляторов, аппаратов управления, представляющих оператору информацию о состоянии технологического процесса.

Приборы, относящиеся к одному и тому же агрегату, расположены вместе. Так на щите в отдельную группу выделены индикаторы, отображающие работу мельниц котла. Так же в данной группе приборы отображения информации единообразны (используются только шкалы со стрелками). В результате такой компоновки функциональных групп у оператора уменьшается вероятность совершения таких ошибок, как включение ненужного технологического аппарата или использование показаний не того прибора, какой требуется.

Рабочая часть щита представлена в двух плоскостях: горизонтальной и вертикальной. На вертикальной плоскости располагаются дисплеи с фиксированной шкалой и движущейся стрелкой. Данная плоскость располагается на расстоянии от 1,5 до 2 метров от уровня пола. Это позволяет удобно считывать информацию в положении стоя. На горизонтальной плоскости – поворотные и кнопочные переключатели. Так же в большей части именно на горизонтальной плоскости расположены световые индикаторы, отображающие работу определенной части котла.

Задачей научного исследования является проектирование мероприятий, которые позволят создать комфортные эргономические условия труда.

*Н. В. Черемисова, студ.; рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Все чаще и чаще люди стали задумываться по поводу альтернативных источников энергии. Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием деятельности Солнца. Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью. Так в конце 2012 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 282,6 гигаватт.

Энергетические ветровые зоны в России расположены, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки, в районах Нижней и Средней Волги и Дона, побережье Каспийского, Охотского, Баренцева, Балтийского, Чёрного и Азовского морей. Отдельные ветровые зоны расположены в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале.

Технический потенциал ветровой энергии России оценивается свыше 50000 млрд. кВт\*ч/год. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд. кВт\*ч/год, т. е. около 30 % производства электроэнергии всеми электростанциями России.

Суммарная установленная мощность ветровых электростанций в стране на 2009 год составляет 17-18 МВт.

Самая крупная ветроэлектростанция России (5,1 МВт) расположена в районе посёлка Куликово Зеленоградского района Калининградской области. Зеленоградская ВЭУ состоит из 21 установки датской компании SEAS Energi Service A.S.

Однако, ветроэнергетика имеет как свои плюсы, так и минусы. Чаще всего люди необоснованно обвиняют ветрогенераторы в различных негативных воздействиях на окружающую среду. Так ли это?

1. **Шум.** Ветроэнергетические установки производят два вида шума: механический и аэродинамический. Шум от современных ветрогенераторов на расстоянии 20 м от места установки составляет 34-45 дБ. Для сравнения: шум от легковой автомашины при скорости движения 64 км/ч – 55 дБ, шумовой фон в офисе – 60 дБ, шум от грузовика при скорости движения 48 км/ч на удалении от него в 100м – 65 дБ. Таким

образом, ветрогенераторы **не** являются источником шума негативно воздействующим на здоровье человека.

**2. Инфразвук и вибрация.** Во время работы ветряка на концах лопастей образуются вихри, которые и есть источники инфразвука. Чем больше мощность ветряка, тем больше мощность вибрации и негативное воздействие на живую природу. Частота этих вибраций составляет 6-7 Гц и совпадает с природным ритмом мозга человека, поэтому возможны некоторые психотропные эффекты. Но это все относится к мощным ветроэлектростанциям. Малая ветроэнергетика в этом аспекте намного безопасней, чем другие источники инфразвука, с которыми мы сталкиваемся ежедневно.

**Вибрация** больше угрожает зданиям и сооружениям. Если генератор в рабочем состоянии, своевременно проводится техосмотр, для лопастей выбран хороший аэродинамический профиль, ветротурбина хорошо отбалансирована, тогда воздействие вибрации сведено к минимуму.

**3. Эстетический вид и тень.** Одним из раздражающих факторов работы лопастей является гигантская плотная мерцающая тень. Для улучшения эстетического вида ветроустановок во многих крупных фирмах работают профессиональные дизайнеры.

**4. Вред для животных и птиц.** Статистика показывает, что из расчета на 10 000 особей из-за ветрогенераторов погибает менее 1 шт., из-за телебашен – 250 шт., от пестицидов – 700 шт., из-за ЛЭП – 800 шт. Таким образом, вред ветрогенераторов минимален для животных и птиц. Однако вибрация изменяет пути миграции для насекомых и мелких животных.

Из очевидных плюсов следует отметить, что ветрогенератор мощностью 1 МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу 1800 тонн углекислого газа, 9 тонн оксида серы, 4 тонн оксида азота. А также ветрогенераторы производят электроэнергию без использования воды, что позволяет экономить водные ресурсы.

Анализируя вышеизложенное, можно с уверенностью сказать, что с экологической точки зрения ветрогенераторы не представляют вреда.

#### Библиографический список.

1. **Ветряная** электростанция // Википедия. Свободная энциклопедия. 2014. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная\\_электростанция](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная_электростанция) (дата обращения: 01.03.2014).

*А.В. Тартин, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.*

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ НА АЭС

*Методы и средства индивидуальной защиты и личной гигиены.* Все работающие с открытыми источниками излучения или посещающие участки, где производятся такие работы, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты в соответствии с видом и классом работ.

*Основной комплект средств индивидуальной защиты.* При работах с радиоактивными веществами в открытом виде I класса и при отдельных работах II класса персонал должен иметь комплект основных средств индивидуальной защиты, а также дополнительные средства защиты в зависимости от уровня и характера возможного радиоактивного загрязнения.

*Основной комплект средств индивидуальной защиты* включает в себя:

- спецбельё;
- комбинезон или костюм (куртка, брюки);
- спецобувь;
- носки;
- шапочку или шлем;
- полотенца;
- перчатки;
- носовые платки одноразовые;
- средства защиты органов дыхания (в зависимости от загрязнения воздуха).

При работах **II класса** и при отдельных работах III класса персонал должен быть обеспечен халатами, шапочками, перчатками, лёгкой обувью и, при необходимости, средствами защиты органов дыхания.

Средства индивидуальной защиты для работ с радиоактивными веществами должны изготавливаться из хорошо дезактивируемых материалов, либо быть одноразовыми.

*Дополнительный комплект средств индивидуальной защиты.* Работающие с радиоактивными растворами и порошками, а также персонал, проводящий уборку помещений, в которых ведутся работы с радиоактивными веществами, кроме комплекта основных средств индивидуальной защиты, должны иметь **дополнительно** спецодежду из плёночных материалов или материалов с полимерным покрытием:

- фартуки;
- нарукавники;
- полухалаты;
- резиновую спецобувь;
- пластиковую спецобувь (бахилы, следы).

Персонал, выполняющий работы по сварке или резке металла, загрязнённого радиоактивными веществами, должен быть снабжён специальными средствами индивидуальной защиты из искростойких хорошо дезактивируемых материалов.

*Средства защиты органов дыхания.* Средства защиты органов дыхания (фильтрующие или изолирующие) необходимо применять при работах в условиях возможного аэрозольного загрязнения воздуха помещений радиоактивными веществами (работа с порошками, выпаривание радиоактивных растворов и т.п.).

При работах, когда возможно загрязнение воздуха помещения радиоактивными газами или парами (ликвидация аварий, ремонтные работы и т.п.), или когда применение фильтрующих средств не обеспечивает радиационную безопасность, следует применять изолирующие защитные средства (пневмокостюмы, пневмошлемы, а в отдельных случаях – автономные изолирующие аппараты).

При переходах из помещений для работ более высокого класса в помещения для работ более низкого класса необходимо контролировать уровни радиоактивного загрязнения средств индивидуальной защиты, а при переходе из 2-й в 3-ю зону (из периодически обслуживаемых помещений в помещения постоянного пребывания персонала) необходимо снимать дополнительные средства индивидуальной защиты.

*Дезактивация средств индивидуальной защиты.* Перед сменой спецодежды самим персоналом производится её сортировка при разделении.

Сортировка спецодежды должна производиться по её виду (отдельно в разные приёмники спецодежды укладываются комбинезоны, шапочки, нательное бельё, носки), а также по степени радиоактивного загрязнения (комбинезоны с загрязнённостью выше допустимой и комбинезоны с загрязнённостью ниже допустимой вместе не укладываются).

Для загрязнённой выше допустимых уровней спецодежды должны быть отдельные приёмники спецодежды.

Загрязнённые выше допустимых уровней спецодежда и бельё должны сразу же направляться на дезактивацию в спецпрачечную.

Смена основной спецодежды и белья, загрязнённого ниже допустимых уровней, должна осуществляться персоналом не реже 1 раза в 10 дней, обычно смена основной спецодежды и белья производится 1 раз в неделю.

Дополнительные средства индивидуальной защиты (плёночные, резиновые, с полимерным покрытием) после каждого использования должны подвергаться предварительной дезактивации в санитарном шлюзе или в другом специально отведённом месте. Если после дезактивации их остаточное загрязнение превышает допустимый уровень, дополнительные средства индивидуальной защиты должны быть направлены на дезактивацию в спецпрачечную.

*Действия при загрязнении радиоактивными веществами личной одежды и обуви.* Следует исключить радиоактивное загрязнение личной одежды и обуви. В случае обнаружения такого загрязнения личная одежда и обувь подлежат дезактивации под контролем службы радиационной безопасности, а при невозможности её очистки – захоронению.

*Меры личной гигиены.* В помещениях для работ с радиоактивными веществами в открытом виде не допускается:

- пребывание сотрудников без необходимых средств индивидуальной защиты;
- приём пищи, курение, пользование косметическими принадлежностями;
- хранение пищевых продуктов, табачных изделий, домашней одежды, косметических принадлежностей и других предметов, не имеющих отношения к работе.

При выходе из помещений, где проводятся работы с радиоактивными веществами, следует проверить чистоту спецодежды и других средств индивидуальной защиты, снять их и при выявлении радиоактивного загрязнения направить на дезактивацию, а самому работнику – вымыться под душем.

Для приёма пищи должно быть предусмотрено специальное помещение, оборудованное умывальником для мытья рук с подводкой горячей воды, изолированное от помещений, где ведутся работы с применением радиоактивных веществ в открытом виде.

Курить разрешается в предназначенных для этих целей помещениях, предварительно вымыв руки и проверив уровень их загрязнения на установке радиационного контроля. Курение в туалетных комнатах не допускается.



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

## **ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАСЛЯНОГО ХОЗЯЙСТВА ТЭЦ**

Масляное хозяйство ТЭЦ состоит из склада масел и аппаратной маслохозяйства.

На складе обычно устанавливаются четыре бака для турбинного масла и четыре бака для изоляционного масла.

В масляном хозяйстве предусматривается аппаратура для очистки и регенерации масла: сепараторы, фильтры, стационарные или передвижные маслорегенерационные установки.

Минеральное масло относится к веществам III класса опасности. Органы дыхания, особенно легкие, очень чувствительны к воздействию масляных паров и масляного тумана.

Опасность отравления значительно увеличивается при наличии в масле сернистых соединений.

Изучение технологических процессов и возникающих при этом опасностей проводится посредством декомпозиции, которая состоит в установлении состава и определения функций компонентов.

Системнологическое описание технологии использования минеральных масел становится основой для выявления процессов, событий, взаимодействий и техногенных воздействий.

Одним из техногенных происшествий, вследствие которого возникают пожарные воздействия, является возгорание минерального масла.

Обеспечению безопасности способствует создание модели причин и последствий опасных техногенных воздействий.

Задачей научного исследования проблемы техногенной безопасности и охраны труда выбрано обнаружение процессов и событий при эксплуатации масляного хозяйства ТЭЦ, приводящих к возникновению техногенных воздействий.

Выявленные техногенные воздействия, их уровень обуславливают в значительной мере мероприятия по охране труда.

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

---

## **ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ В ООО «ПРОЕКТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ДОМ"»**

Задачей научного исследования проблемы техногенной безопасности и охраны труда выбрано обнаружение процессов и событий при производстве продукции ООО «ППО "ДОМ"», приводящих к возникновению техногенных воздействий.

ООО «ППО "ДОМ"» – предприятие, занимающееся производством строительных материалов, основными из которых являются оконные и дверные блоки, погонажные изделия, стеклопакеты, клееная балка. В структуру предприятия входят:

- столярный цех по изготовлению деревянных оконных блоков со стеклопакетом;
- столярный цех по изготовлению деревянных дверных блоков;
- цех по изготовлению стеклопакетов;
- столярный цех по изготовлению эксклюзивных деревянных изделий;
- заготовительный цех по изготовлению клееного бруса;
- отделение сушки пиломатериала;
- склад пиломатериала и др.

Для подробного и глубокого изучения технологических процессов и возникающих при этом опасностей проводится декомпозиция, которая состоит в установлении компонентного состава и определения функций компонентов.

Системнологическое описание технологии производства продукции становится основой для выявления процессов, событий, взаимодействий и техногенных воздействий.

Одним из техногенных происшествий, вследствие которого возникают пожарные воздействия, является возгорание пиломатериалов, древесных опилок.

Обеспечению безопасности способствует создание модели причин и последствий опасных техногенных воздействий.

Мероприятия охраны труда в значительной мере обуславливаются уровнем техногенных воздействий и способами защиты.

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

## **ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ТЭЦ**

Водородное хозяйство ТЭЦ состоит из электролизной установки, ресиверов, коллекторов, огнепреградителей, систем охлаждения электрогенераторов и др.

Основными опасностями при использовании водородного хозяйства ТЭЦ является техногенные воздействия, возникающие вследствие пожаро- и взрывоопасности водорода.

Изучение технологических процессов и возникающих при этом опасностей проводится посредством декомпозиции, которая состоит в установлении состава и определения функций компонентов.

Системнологическое описание технологии использования водорода становится основой для выявления процессов, событий, взаимодействий и техногенных воздействий.

Одним из техногенных происшествий, вследствие которого возникают пожарные и взрывные воздействия, является возгорание водорода.

Обеспечению безопасности способствует создание модели причин и последствий опасных техногенных воздействий.

Задачей научного исследования проблемы техногенной безопасности и охраны труда выбрано обнаружение процессов и событий при эксплуатации водородного хозяйства ТЭЦ, приводящих к возникновению техногенных воздействий.

Выявленные техногенные воздействия, их уровень обуславливают в значительной мере мероприятия по охране труда.

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

## **ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

Появление мобильной связи с разветвленной системой базовых станций и широким частотным диапазоном электромагнитного поля (ЭМП) существенно изменило в окружающей среде электромагнитный фактор и тем самым усилило воздействие окружающей среды на человека.

Экспериментальные исследования позволили выявить общебиологические особенности реакций живого организма, биологических структур и систем при однократных и длительных воздействиях ЭМП УВЧ диапазона. Эти особенности заключались в следующем: ЭМП воздействуют на расстоянии; обладают селективным (избирательным) действием; специфическим эффектом; фазностью действия и длительным последствием.

*Селективный тепловой эффект* заключается в том, что под воздействием электромагнитных волн частотой 100 МГц (длина волны 3 м) больше всего нагревается печень, кость, жир, меньше - мышечная ткань и кожа. Наибольший термический эффект наблюдается на поверхностях раздела разнородных тканей. В результате селективного действия отсутствие повышения общей температуры тела вовсе не исключает того, что отдельные ткани, клетки и ядра клеток подвергаются термоэффекту (микронагрев), что отражается на изменении функций организма в целом.

*Специфичность действия* заключается в образовании теплоты внутри объекта и в термоселективном эффекте.

*Фазность воздействия* проявляется в зависимости от экспозиции и интенсивности ЭМП. Кратковременные воздействия и слабые интенсивности электромагнитных волн вызвали стимулирующий эффект, длительная экспозиция, а также сильное электромагнитное поле - тормозной эффект.

*Последствие* электромагнитного фактора выявлялось спустя несколько часов после окончания воздействия, и реакция усугублялась в последующие недели. После определенного периода времени отмечалось восстановление функций до исходных значений.

Мозг человека на 90 % состоит из водного раствора. Известно, что все водные растворы электролитов являются сложной многокомпонентной системой, каждая молекула и каждый ион которой обладают потенциальной и кинетической энергией. Кинетическая и потенциальная энергии каждого звена тела являются суммами всех ее составляющих. Если поместить такую систему в постоянное (потенциальное) внешнее электрическое поле напряженностью  $E$ , то изменится ее состояние, т.е. любое изменение внешней среды (изменение поляризации) вызывает ответную реакцию ассоциаций клеток в ту или иную сторону в зависимости от направления энергии движения (вращения поля).

Радиотелефон при работе вместе с излучающей антенной создает в ближней зоне определенную поляризацию волн, из которых формиру-

ется полезный модулированный информацией электрический сигнал с частотой 1,8 ГГц.

Любой электромагнитный сигнал, в том числе и от радиотелефона, содержит в своем составе помимо основной частоты, высшие гармоники, которые не несут полезной информации, а создают "паразитные" помехи.

Характер распределения ЭМП в пространстве, окружающем телефон, значительно изменяется в присутствии абонента (при разговоре человека по телефону). Голова человека при этом поглощает от 10,8 до 98 % энергии, излучаемой модулированными сигналами различных несущих частот.

Суммарное информационно-энергетическое поле организма человека представляет собой суперпозицию полей от электронных соединений атомов до полей макромолекулярных комплексов и тканей с диапазоном частот 0...100 ГГц. Так, органы работают в низкочастотной области от 0...50 Гц, группы клеток, образующие ткани, в килогерцовом диапазоне, клетки "общаются" в диапазоне волн 40...70 ГГц. Энергоинформационный обмен химико-биологического и волнового характера внутри организма и с окружающей средой осуществляется генетической программой ДНК и нервной системой.

Мозг человека при этом является наиболее универсальной мишенью для ЭМП. Он участвует в регулировании функционирования всех систем организма, осуществляет мыслительные процессы и определяет поведение человека. Мозг работает в диапазоне четырех видов "мозговых волн". Большую часть дня мозг работает в диапазоне бета-волн 14...20 Гц. Кроме того, существуют еще альфа-волны 8...13 Гц; тета-волны 4...7 Гц и дельта-волны 0...3 Гц. Диапазоны собственных колебаний мозга человека необходимо учитывать при изучении путей воздействия на него ЭМП мобильной связи.

При работе сотового телефона на голову человека одновременно влияют поля разных частот: основной высокочастотный сигнал с базовой или ретрансляционной станции; ЭМП окружающей среды, в которых доминирует низкочастотный сигнал 50 Гц, и акустический сигнал от микрофона телефона мобильной связи.

Совокупность перечисленных сигналов воздействует на центральные структуры мозга; на периферические рецепторы вестибулярного, слухового и зрительного анализаторов; на биологические активные точки уха; на головной мозг через кожные рецепторы лица, уха; на слюнную и щитовидную железы; эпифиз, продуцирующий гормон мелатонин, который контролирует процессы деления клеток.

Расчеты поглощенной энергии в мозге человека показывают, что при применении радиотелефона мощностью 0,6 Вт с рабочей частотой 900 МГц удельная энергия ЭМП в головном мозге может составить от 120 до 230 мкВт/см<sup>2</sup>, что существенно выше норматива.

Рассмотрим значимые виды воздействий от источников мобильной связи.

Череп человека можно рассматривать как экранирующую оболочку, которая в значительной степени экранирует сложное структурно-временное ЭМП, падающее на оболочку с отверстием (ушная раковина). Чтобы оценить влияние черепной коробки на распределение поля, проникшего внутрь, можно в первом приближении аппроксимировать череп человека сферой, а ушную раковину - круглым отверстием, и рассмотреть задачу о проникновении ЭМП через круглое отверстие в экранирующую сферу, внутри которой находятся элементы (кора головного мозга, продолговатый мозг, мозжечок и др.), электрические свойства которых различны. При анализе можно воспользоваться следующей математической моделью:

$$\operatorname{rot} \vec{H}_i = \varepsilon_i \cdot \frac{\partial \vec{E}_i}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{E}_i = -\mu_i \cdot \frac{\partial \vec{H}_i}{\partial t}, \quad i \in [\overline{1, N}];$$

$$[\vec{n}_j (\vec{H}_{i+1} - \vec{H}_i)]_{S_i} = 0, \quad [\vec{n}_i (\vec{E}_{i+1} - \vec{E}_i)]_{S_i} = 0,$$

где  $i$  - индекс, обозначающий принадлежность к  $i$ -му элементу мозговой ткани;  $\varepsilon_i, \mu_i$  - соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемость  $i$ -го элемента;  $\vec{n}_i$  - нормаль к поверхности  $S_i$   $i$ -го элемента;  $\vec{E}_i, \vec{H}_i$  - векторы электрической и магнитной напряженностей в  $i$ -м элементе.

Результирующее ЭМП в черепной коробке по структуре отличается от поля антенны мобильного телефона. Поле проходит через слои тканей с разными электрическими свойствами, отражается от поверхностей как отдельных элементов, так и черепа, и становится существенно неоднородным.

Величина прошедшей внутрь мозга энергии ЭМП СВЧ диапазона зависит от электрических свойств черепной коробки, положения, размеров и структуры тканей мозга и направления падения СВЧ волны, т.е. от входного сопротивления данной сложной структуры.

Низкочастотное ЭМП (чаще частотой 50 Гц) от объектов электроэнергетики, в ряде районов городской среды находящееся на предельно допустимом уровне, практически беспрепятственно проникает в черепную коробку, индуцирует в проводящих элементах мозга

электрические токи, при этом выделяется теплота, в результате чего происходит дополнительный (к ЭМП СВЧ диапазона) разогрев тканей мозга. Математическая модель низкочастотного ЭМП в элементах мозга (в том числе и в черепной коробке) описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H}_i &= \gamma_i \cdot \vec{E}_i, \quad \operatorname{rot} \vec{E}_i = -\mu_i \cdot \frac{\partial \vec{H}_i}{\partial t}, \quad i \in [1, N], \\ [\vec{n}_j (\vec{H}_{i+1} - \vec{H}_i)]_{S_i} &= 0, \quad [\vec{n}_i (\vec{E}_{i+1} - \vec{E}_i)]_{S_i} = 0, \end{aligned}$$

где  $\gamma_i$  – объемная электрическая проводимость  $i$ -го элемента мозга.

Разница между рассмотренными математическими моделями заключается в том, что в первом случае в уравнениях использованы

плотности токов смещения  $\varepsilon_i \cdot \frac{\partial \vec{E}_i}{\partial t}$  (для ЭМП СВЧ диапазона), а во втором - токи проводимости  $\gamma_i \cdot \vec{E}_i$  (для низкочастотных ЭМП).

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс: [http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb\\_bud.html](http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb_bud.html)
2. Электронный ресурс: <http://www.tesla.ru/news/>

*А.Н. Крупина, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## БЕЛКИ КАК ОСНОВА ЖИЗНИ И ЗДОРОВОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

По выражению Ф.Энгельса «...жизнь это синтез белковых веществ и движение». Белки - наиболее важные биологические вещества живых организмов, служащие основным материалом формирования клеток, тканей и органов тела человека. Они составляют основу гормонов, ферментов, антител и других образований, выполняющие сложные функции в жизни человека, способствующие нормальному обмену в организме витаминов и минеральных солей и т.д. Белки отвечают за дыхание, выделения, пищеварение, движение, защитную функцию, обеспечивают организм необходимой энергией и восполняют компоненты клеток. Нарушение белкового обмена развивается в том случае, если в организм поступает его в большом или малом количестве. На этой почве могут возникать различные заболевания. При недостатке белков в организме возникают серьезные нарушения: замедление роста и развития, изменения в печени взрослых, деятельности желез внут-

ренной секреции, состава крови, ослабление умственной деятельности, снижение работоспособности и сопротивляемости к инфекционным заболеваниям. Для несбалансированного по белку питания, при котором происходит дефицит незаменимых аминокислот, также характерны низкая масса тела и плохой аппетит.

Скорость распада и обновления белков в организме различна. Полупериод распада белков плазмы крови и печени около 10 суток, белков мышц -180. В среднем все белки в организме человека обновляются в течение 80 сут. О суммарном количестве белка, подвергнувшегося распаду за сутки, судят по количеству азота, выводимого из организма. В белке содержится около 16 % азота. Выделение организмом 1 г азота соответствует распаду 6,25 г белка. За сутки из организма взрослого человека выделяется около 3,7 г азота или 0,028-0,075 г азота на 1 кг массы тела в сутки. Белки участвуют в получении энергии, особенно в период больших энергетических затрат или при недостаточном количестве в питании углеводов и жиров. Энергетическая ценность 1 г белка составляет 4 ккал (16,7 кДж) [1]. Всемирной организацией здравоохранения рекомендуется потребление белка не менее 0,75 г/кг в сутки, или для взрослого здорового человека массой 70 кг его должно поступать не менее 52,5 г. В состав белков помимо углерода, кислорода, водорода и азота входят и аминокислоты, дающие основу для построения их молекул. Особенно велика потребность в белке в периоды роста, беременности, выздоровления после тяжелых заболеваний. Недостаточное потребление белка может проявиться в виде: - болезни Квашиоркора – это несбалансированный алиментарный недостаток белка в организме. К симптомам заболевания относят отёки, вялость, апатию, низкую массу тела, асцит, задержку развития, иммунодефицит и пониженное содержание белков в крови. Прогноз при возникновении этого заболевания неблагоприятный - больные часто умирают. Болезнь возникает вследствие дефицита одного или нескольких питательных веществ. Ещё больше может усугубить положение контакт с инфекцией или отравление токсинами; - алиментарной дистрофии – недостаточная сбалансированность белковых веществ в продуктах питания. Симптомы возникновения данного заболевания большое содержание белка в крови на нижней границе, низкая масса тела, иммунодефицит и повышенное содержание кетоновых веществ. Для алиментарной дистрофии нехарактерна задержка физического и умственного развития. При дистрофии прогноз для больных более благоприятный, но, все же, встречаются случаи с летальным исходом. Обычно симптомами нарушения обмена белков в организме проявляются в виде запора или диареи, отвращения к еде, повышенного содержания белков в плазме кро-



ви, дисбактериоза кишечника. [2]. Для нормального синтеза белков необходимо не только достаточное количество аминокислот, но и правильное и активное функционирование системы этого синтеза и кодирующих его генетических структур. Нарушение продуцирования белка может быть как приобретенным, так и наследственным. Оно выражается в изменении количества синтезированных молекул или появлении молекул с измененной структурой. Увеличение или уменьшение количества синтезируемого белка чаще всего связано с изменением регуляторных влияний со стороны ряда гормонов, нервов и иммунной системы. Избыточное содержание аминокислот так же плохо влияет на организм; оно проявляется в виде снижения аппетита и массы тела, нарушения вкусовых рецепторов, а так же питания тканей и органов. Белки занимают центральное положение в осуществлении процессов жизнедеятельности организма.

Нарушения белкового обмена возможны на всех этапах, начиная от всасывания и кончая выведением из организма конечных продуктов обмена.

Нарушение конечных этапов белкового обмена: нарушение образования и выделения мочевины и других азотистых продуктов обмена, проявляется изменением уровня и состава остаточного азота в крови. Увеличение остаточного азота в крови – гиперазотемия может быть следствием нарушения образования мочевины и дистрофические изменения в печени, гипоксия, наследственное нарушение мочевинообразования. Накопление аммиака в крови, оказывает токсичное воздействие на центральную нервную систему. Нарушение образования и выделения мочевой кислоты (конечного продукта обмена пуриновых оснований, входящих в структуру нуклеиновых кислот) приводит к возникновению болезни — подагра. Причиной нарушения образования и выделения мочевой кислоты являются заболевания почек и лейкозы. Гиперуринемия приводит к отложению солей мочевой кислоты в суставах и хрящах, вызывающее острое подагрическое воспаление. Исходом этого воспаления являются деформация суставов, нарушения белкового состава крови; проявляются изменением общего количества белков, изменением соотношения между отдельными белковыми фракциями при нормальном общем содержании белков в организме. Гипопротеинемия возникает при снижении содержания количества альбуминов. Причиной этому явлению могут стать голодание, заболевания печени, нарушение всасывания белков, кровопотеря, плазмопотеря, экссудация, транссудация и протеинурия. Гиперпротеинемия связана с гиперглобулинемией: усилением синтеза антител — компенсаторная реакция при снижении альбуминов в крови. Альбумин являет-

ся основным белком плазмы крови, его синтез происходит в печени. Задача альбумина заключается в поддержании давления плазмы относительно объема крови. Вместе с этим он осуществляет доставку различных веществ и их депонирование. Его пониженный уровень говорит о протекании в организме патологических процессов. Известно, что в организме человека практически отсутствует депонирование белков, а источником аминокислот для их синтеза служат компоненты принимаемой пищи. При нарушении переваривания и всасывания белков развивается алиментарная белковая недостаточность. Причиной считаются воспалительные и дистрофические процессы в кишечнике, голодание, несбалансированное по аминокислотному составу питание. Для нормального синтеза белков необходимо активное функционирование соответствующих генетических структур, на которых совершается этот процесс. При повреждении генетического аппарата изменяется синтез белков или синтезируются белки с измененной структурой. Измененный синтез белков может быть следствием нарушения одного из звеньев белоксинтезирующей системы - аппарата трансляционной или посттрансляционной модификации молекул. С увеличением частоты ошибок трансляции в процессе жизни связывают старение организма. Нарушение синтеза белков может быть связано с дефектом регуляции; на клеточном уровне - это воздействие метаболитов, на уровне организма - гормоны и нервная система. Косвенным показателем активности обмена белков служит так называемый азотистый баланс. Азотистым балансом называют разность между количеством азота поступившего с пищей и количеством азота, выделяемого из организма в виде конечных продуктов обмена веществ. При расчетах азотистого баланса исходят из того факта, что в белке содержится около 16% азота, то есть каждые 16 г азота соответствуют 100 г белка. Если количество поступившего азота равно количеству выделенного, то говорят об азотистом равновесии. Для поддержания азотистого равновесия в организме требуется как минимум 30–45 г животного белка в сутки. Состояние, при котором количество поступившего азота превышает выделенное, называют положительным азотистым балансом, а если наоборот, то называют отрицательным азотистым балансом. Белки органов и тканей нуждаются в постоянном обновлении: около 400 г белка из 6 кг, составляющий белковый «фонд» организма, ежедневно подвергается катаболизму и должно быть возмещено эквивалентным количеством вновь образованных белковых веществ. Минимальное количество белка, постоянно распадающегося в организме, называется коэффициентом изнашивания.

Потеря белка у человека массой 70 кг составляет примерно 23 г/сут. Поступление в организм белка в меньшем количестве ведет к отрицательному азотистому балансу, неудовлетворяющему пластические и энергетические потребности организма.

Суточная потребность в белках у взрослого здорового человека составляет 80–100 г белка, в том числе 30 г животного происхождения, а при физических нагрузках - 130–150 г. Эти количества в среднем соответствуют физиологическому оптимуму белка - на 1 кг массы тела 1 г белка [3]. Животный белок пищи практически полностью превращается в собственные белки организма. Синтез же белков организма из растительных белков идет менее эффективно: коэффициент превращения составляет 0,6 – 0,7 по причине дисбаланса незаменимых аминокислот в животных и растительных белках.

При питании растительными белками, действует «правило минимума», согласно которому синтез собственного белка зависит от незаменимой аминокислоты, которая поступает с пищей в минимальном количестве.

#### **Библиографический список:**

1. **Электронный ресурс:** [zdravplus.ru/ru/statiy/microelement...](http://zdravplus.ru/ru/statiy/microelement...) копия
2. **Электронный ресурс :** [iesfir.ru/rol-belkov-v-organizme-ch...](http://iesfir.ru/rol-belkov-v-organizme-ch...) копия 2
3. **Электронный ресурс:** <http://dommedika.com/physiology/4.html> Dommedika

*И. Е. Сахаров, асп.; рук. Ю.М. Овсянников, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О ПРИМЕНЕНИИ ПРОГРАММЫ СРЕДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В К ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ХАРГ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

В процессе эксплуатации силовых маслонаполненных трансформаторов неизбежно происходит постепенный процесс старения изоляции, который приводит к снижению общей надёжности технической системы.

Процесс деградации изоляции трансформатора и развития, связанных с этим дефектов сопровождается изменением концентраций растворённых в масле газов. Данная взаимосвязь между изменением концентрации, газов и состоянием силового трансформатора лежит в основе множества диагностических методик основанных на обработке результатов хроматографического анализа растворённых в масле газов (ХАРГ).

Широкое распространение, а значит и сбор статистических данных, ХАРГ берёт своё начало с середины 70-х годов 20-ого века [1]. При этом согласно действующим руководящим документам [2] проведение периодических измерений концентраций газов необходимо проводить примерно раз в полугод. Всё это приводит к пониманию того, что в настоящее время накоплены колоссальные объёмы статистических данных ХАРГ, которые согласуются с реальным состоянием технических систем.

Однако развитых подходов к анализу накопленной базы данных в настоящее время не существует. В связи с этим авторами, предлагается подвергнуть статистическому анализу накопленную в системе Диагностика+ [3] информацию по ХАРГ силовых трансформаторов, с целью выделения групп «однородных» состояний трансформаторов.

Полученные группы или, если использовать терминологию применяемого для этих целей иерархического кластерного анализа, кластеры предполагается использовать для дальнейшего прогнозирования изменения концентрации газов интересующего трансформатора.

В основе данного подхода лежит гипотеза о том, что физические процессы, имеющие место быть в изоляции трансформаторов составляющих «однородную» группу протекают схожим образом. Следовательно, будущее изменение концентрации в интересующем исследователя случае, будет коррелировать с изменением концентраций для дру-

гих состояний трансформаторов из «однородной» группы, а значит, может быть в той или иной мере предсказано.

Для проведения статистического исследования авторами был выбран свободный программный пакет R [4]. Основной причиной стало то, что R «поддерживает широкий спектр статистических и численных методов и обладает хорошей расширяемостью с помощью пакетов. Пакеты представляют собой библиотеки для работы специфических функций или специальных областей применения». На текущий момент в базовую поставку входит более 5000 пакетов [5].

На первом этапе – этапе выделения групп «однородных» состояний трансформаторов, авторами использовались возможности среды R, в области иерархического кластерного анализа.

В частности R позволяет использовать различные метрики (Евклида, Манхэттена, Канберра), которые определяют способ вычисления расстояния между кластерами. Кроме этого можно использовать различные алгоритмы объединения отдельных элементов в кластеры (методы ближнего и дальнего соседа, метод средней связи, метод Уорда и т.д.).

Многообразие методов позволяет выбрать для анализа данных наиболее адекватный подход, максимально отвечающий поставленной исследователем задаче.

На рис. 1 приведена визуализация результатов кластеризации замеров ХАРГ. Вертикальная шкала характеризует условное расстояние между объектами, в ряд выстроены исследуемые данные – результаты замеров ХАРГ. Также выделено пять «однородных», в смысле применяемой метрики, групп замеров ХАРГ.

Второй этап обработки данных заключается в прогнозе будущих концентраций характерных газов на основе выборки замеров, попавших в одну группу (на рис.1 выделены прямоугольной областью). Методика прогнозирования в данный момент находится на стадии активной разработки.

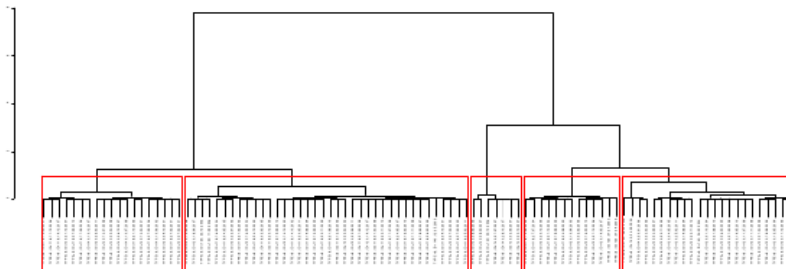


Рис. 1. Пример кластеризации результатов ХАРГ (дендрограмма)

### Библиографический список

1. **Смирнов М. А.**, Фуфурин Н. П. Оценка состояния трансформаторов по анализу растворённых газов в масле // Эксплуатация и совершенствование высоковольтных аппаратов и трансформаторов / Тр. ВНИИЭ. – М.: Энергия. – 1976. – Вып. 49. – С. 24 – 31.
2. **РД 153-34.0-46.302-00.** Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворённых в масле. 2001.
3. **Попов Г.В.** Экспертная система оценки состояния электрооборудования «Диагностика+» // Электрические станции. – 2011. – № 5. – С. 36 – 45.
4. **The R Project** for Statistical Computing. – URL: <http://www.r-project.org/> (дата обращения 6.03.2014).
5. **R: Contributed Packages.** – URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/index.html> (дата обращения 06.03.2014).

*Ю.В. Кумачева, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## БИОТЕХНОЛОГИИ ПАНАЦЕЯ ИЛИ ЗЛО ДЛЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Важнейшей задачей существования государства является решение проблемы продовольственной безопасности. Продовольственная безопасность России складывается из продовольственной безопасности республик и областей. Главное место в обеспечении продовольствием страны или отдельно взятого региона принадлежит сельскохозяйственному производству, развитию пищевой промышленности и торговли.

Одним из обобщенных показателей продовольственной безопасности, по оценкам экспертов Всемирной продовольственной организации, служит динамика среднедушевого производства зерна. Средне-

душевое потребление зерна в индустриально развитых странах составляет 635 кг, в США – 1200 кг. В России за последнее десятилетие производство зерна на душу населения составляет от 500 до 560 кг.

Исходя из сформулированных требований и параметров функционирования системы продовольственного обеспечения, Правительство должно разрабатывать и проводить в жизнь единую политику в области продовольствия. Цель этой политики - гарантировать всем жителям страны физическую и экономическую доступность продуктов питания в соответствии с физиологическими нормами питания независимо от их возраста, имущественного и должностного положения, места жительства.

Нерешенность этих проблем, в совокупности с крайне неблагоприятной демографической ситуацией в стране, может сказаться на реализации стратегии экономического развития, в том числе в части установления и развития всего агропромышленного комплекса. Важную роль в решении этой проблемы может сыграть развитие биотехнологий, в том числе и в решении задачи продовольственной обеспеченности. Оппоненты использования биотехнологий распространяют информацию о непредсказуемых последствиях их применения, а это может привести к принятию ограничительных мер. Однако подобные страхи не всегда подтверждаются множеством прошедших экспертную оценку научных докладов и данных, полученных в результате десятков тысяч практических испытаний. Человечество на протяжении тысячелетий изменяло генетическое строение растений, причем зачастую это могло иметь отрицательные последствия для окружающей среды и, как правило, приводило к появлению мутированных генов, протеинов и других компонентов в составе продуктов питания. Так, например, селекционеры, используемые в пищу, помидоры и картофель для улучшения их свойств обычно выводят на основе диких сортов с высоким генетическим потенциалом. В странах ЕС препятствуют внедрению трансгенных растений в сельскохозяйственную практику. И даже многие развивающиеся страны, испытывающие затруднения с продовольственным обеспечением, услышав о противоречивых отзывах о генномодифицированных компонентах (ГМК), США и Европа, на время решили не связываться с ними [1]. После нескольких лет неопределенности Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) выступила в глобальных политических дебатах на стороне ГМК, опубликовав новый доклад, озаглавленный «Сельскохозяйственная биотехнология: навстречу потребностям бедных». В нем ФАО подвергает глубокому анализу такую важную и противоречивую тему, как ГМК и делает вывод о целесообразности производства ГМ

продуктов для бедных фермеров развивающихся стран. В докладе ФАО стремилось сконцентрировать внимание на безопасности продуктов и проблемах биологической безопасности ГМК, приводя самые авторитетные научные свидетельства. В докладе делается вывод: «До сих пор нигде в мире не обнаружены неблагоприятные токсичные и вредные для здоровья последствия при приеме пищи, полученной из ГМК». Этот вывод основан на 50 независимых научных оценках авторитетных групп в ЕС, Бразилии, Китае, Индии и США. Убедительным основанием в пользу ГМП и считается то, что за десять лет широкого применения такой пищи не выявлено случаев ее опасного воздействия на здоровье, но вряд ли это убедит приверженцев жесткой версии «принципа предосторожности», позволяющего воздерживаться от санкционирования ГМП в случае, если не развеяны все сомнения.

Летом 2004 г. была успешно завершена программа «Геном человека». В ходе ее реализации дополнительно к решению основной задачи были расшифрованы геномные структуры десятков патогенных бактерий. Несложно догадаться, что большинство результатов этой программы закрыто. «Геном» позволяет перейти к работам над новым поколением высокоточного генного оружия (ГО), которое, по мнению американских ученых, появится в ближайшие пять-десять лет. Теперь биологическая наука попутно способна раскрыть механизм действия токсинов, а геновая инженерия (ГИ) и современные биотехнологии - обеспечить производство избирательно действующих токсичных продуктов, которые невозможно отличить от обычных без трудоемкой генетической экспертизы. Если ГО с выборочным воздействием только на людей определенного национального генотипа действительно будет разработано, то последствия могут оказаться поистине ужасающими. Угроза использования биологического оружия в вооруженных конфликтах остается; растет число стран, способных производить в массовом количестве биологические агенты и токсины, которые могут быть применены для поражения людей, животных и растений. При биологической атаке наряду с человеческими жертвами важным является эмоциональный аспект влияния угрозы. Надо очень серьезно отнестись к проблеме биологического терроризма, так как XXI в. станет веком большего числа попыток использования биологического оружия в террористических целях. Этому способствуют определенные факторы: во-первых, очень трудно выявить людей и структуры, занимающиеся подобной деятельностью; во-вторых, террористические группы понимают, что биологическая атака в течение некоторого времени может остаться незамеченной, а человека или организацию, совершившую ее, очень трудно найти; в-третьих, такая атака растянута во вре-



мени, так как ее результаты становятся видны лишь впоследствии. Поэтому биологическое оружие очень привлекательно для террористов. Анализ последствий биотеррористического акта, проведенный американскими специалистами, показывает, что для города с населением 100 тыс. человек материальный ущерб может составлять от 470 млн до 22 млрд долл. в зависимости от вида использованного биологического агента.

Одним из последствий вспышек инфекционных заболеваний, даже не передающихся людям, является уменьшение деловой активности в пострадавшей стране или регионе и падение туризма. Ущерб от действия террористов в агроэкономической сфере может быть значительно более тяжелым по сравнению с обычными эпидемиями, поскольку террористы способны выбрать наиболее уязвимое место в системе медико-санитарного контроля и нанести удар одновременно в нескольких местах в наиболее выгодный момент. Ущерб, который способен нанести агротерроризм, напрямую зависит от длительности периода времени, которое потребует на обнаружение факта совершения террористического акта - чем больше времени эпидемия будет развиваться, тем более сложно будет остановить ее распространение и тем большим будет нанесенный ущерб.

Эксперты МСХ США считают, что возможное применение террористами патогенных микроорганизмов и токсичных веществ для массового заражения и отравления скота, птицы, почв, хранилищ продовольствия и зерна, фуражных запасов в агропромышленном секторе, чревато гибелью большого количества людей и значительным ущербом для продовольственной сферы страны.

Использование генно-модифицированных организмов (ГМО) производителями продуктов питания уже само по себе потенциально опасно, тем более, что сейчас в России большинство производителей и импортеров нарушают все постановления, касающиеся маркировки продуктов с ГМ ингредиентами.

Сегодня практически на любом этапе производства продуктов питания, может произойти вмешательство злоумышленников. Гены патогенных микроорганизмов могут быть встроены в геном растений, используемые как сырье для производства кормов и продуктов питания.

Сделать это просто: достаточно распылить над обычным полем с сельскохозяйственными растениями пыльцу генетически модифицированных растений. Путем естественного перекрестного опыления гены патогенных микроорганизмов быстро распространятся в здоровой популяции, а сами растения получают соответствующую вставку на

генном уровне. Причем процесс станет уже неконтролируемым, что приведет к необратимым процессам и негативным последствиям. В частности, таким способом можно вызвать различные эпидемии или эпизоотии, массовые отравления, стойкие эпидемические очаги, в том числе и заболеваний, в данной стране никогда не встречавшихся.

Конкретных примеров биологического терроризма с применением ГМИ пока мировая история не знает. Но ряд инцидентов, которые происходили в последнее время, наводит на мысль, что если задаться целью, то провести подобную диверсию проще, чем может показаться.

Например, скандал вокруг детского питания Numana: где один из ингредиентов привел к смерти нескольких младенцев в Израиле в конце 2003 г; корпорацию «Кока-Кола», когда в ее напитке были выявлены канцерогенные вещества; корпорацию «Монсанто», отозвавшую с рынка в 1998 г. - 60 000 мешков (достаточное для того, чтобы засеять поле в 250000-300000 га), содержащих «неправильные гены» семян канолола. Масло семян канолы используется для приготовления пищи с низким содержанием жира, в фармацевтике, в качестве пищевых добавок, в кондитерских продуктах, маргарине, предметах личного туалета, мылах и моющих средствах [2].

#### Библиографический список:

1. **Тышко Н. В.** [и др.], Медико-биологическая оценка генетически модифицированной сахарной свеклы и полученного из нее сахара-песка. //Хранение и переработка сельхоз-сырья. - 2003. - № 5. - С. 99.
2. **Харченко П. Н.**, ДНК-технологии в биологической защите растений//Достижения науки и техники АПК. - 2002. - № 10.

*С.В. Гулина, студ., рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К НОРМИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

В России допустимая интенсивность ЭМП регламентируется санитарными правилами и нормами. Уровни ЭМП, вызываемые объектами системы сотовой связи, нормируются в России в соответствии с Гигиеническими нормативами ГН 2.1.8./2.2.4.019–94 "Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи".

Принятые санитарно-гигиенические нормативы, по мнению специалистов, предусматривают существенно завышенные параметры электромагнитной среды и не учитывают ряд важных обстоятельств.

1. Регламентация ЭМП частотой 50 Гц осуществляется отдельно для электрической и магнитной составляющих без учета того, что в большинстве случаев ЭМП действует на человека совместно.

2. В разработанных нормах (СанПиН 2.2.4.723–98) не различают воздействия на человека источников ЭМП, создаваемых токами: трехфазных электроустановок, линий электропередачи или однофазных силовых шин. ЭМП трехфазных установок является вращающимся, и векторы  $E$  и  $H$  изменяются в пространстве и во времени по эллиптическим кривым. ЭМП, создаваемое однофазным током, изменяется во времени и по направлению. Очевидна разница в биофизическом воздействии этих ЭМП на организм человека, однако в нормах это не отражено. Кроме того, нормы не регламентируют направление векторов  $E$  и  $H$ : вдоль тела человека или поперек, а также относительно направления вектора геомагнитного поля в пространстве рабочего места.

3. Помещения и объекты рабочих мест энергетиков, как правило, экранированы или специальными ферромагнитными материалами, или конструкциями электрооборудования, чтобы снизить воздействие ЭМП на персонал. Из-за нелинейности ферромагнитных материалов, используемых при экранировании, возможности их насыщения, в спектре вектора  $H$ , прошедшего через такой экран, на рабочем месте обслуживающего персонала появляются гармоники четных частот ( $f=100, 200$  Гц и т. д.) значительной величины, ПДУ которых при этом не регламентируются. По данным зарубежных исследователей, для этих частот ПДУ для  $H$  должны быть ограничены значениями  $0,12...0,16$  А/м, что существенно ниже значений  $H$  этих гармоник.

4. На рабочих местах на электризуемых предметах (материалах мебели, половых покрытий, занавесках и др.) из-за накопления статического электричества (СЭ), появляется дефицит отрицательных ионов в воздухе окружающего пространства, из-за которого снижается работоспособность и нарушаются суточные биоритмы человека.

5. Несмотря на явную очевидность и значимость обязательной регламентации знака заряда СЭ и времени утечки наведенного заряда, применяемого для оценки технической электромагнитной безопасности рабочего места, в отечественных и зарубежных гигиенических нормативных документах эти показатели отсутствуют.

Результаты исследований показали, что при комплексном (сочетанном) воздействии ЭМП на человека величина предельно допусти-

мого уровня (ПДУ) каждого фактора должна быть значительно снижена по сравнению с однофакторными ПДУ.

Однофакторные воздействия на человека с регламентированными ПДУ можно рассматривать только для условий открытого пространства, а не для рабочего места.

Каждое производственное рабочее место достаточно индивидуально по применяемым техническим средствам, используемым материалам, размещению его в помещении, в здании, транспортированию и преобразованию около него электрической энергии и т. п. Поэтому подход к оценке безопасности рабочего места не может быть однофакторным. В случае многофакторного подхода - однофакторные нормы ПДУ, используемые в настоящее время, не могут быть применены, так как они существенно завышены.

Результаты исследований, выполненные зарубежными специалистами, показали, что при комплексном (сочетанном) воздействии ЭМП на человека интенсивность ПДУ каждого фактора должна быть снижена от 10 до 1000 раз.

В современных нормативах отражен только "тепловой эффект" воздействия мобильной связи. Согласно ГН 2.1.8/2.2.4.019-94 излучение для "служащего" не должно превышать  $100 \text{ мкВт/см}^2$ , а для "населения" –  $10 \text{ мкВт/см}^2$  по СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Действовавшие ранее нормы были жестче: вредным считалось облучение, начиная с плотности потока мощности  $10 \text{ мкВт/см}^2$ .

Кроме того, интерес исследователей почти целиком сосредоточен на воздействии только ЭМП, влиянием же механических колебаний (вибраций, акустических колебаний, микрофлуктуаций давления) на функционирование живых организмов чаще всего пренебрегают.

Российские нормы основаны на таком уровне чувствительности, при котором появляются какие-либо физиологические изменения (нарушения работы органов и систем), исчезающие с прекращением воздействия ЭМП. В США подход к гигиеническим нормам можно назвать "тепловым" (в качестве порога выбирается такой порог излучения, которому соответствует I стадия какого-либо патологического нарушения или необратимого процесса в органе или системе). Таким образом, российский подход к предельно допустимым уровням ЭМП более жесткий.

В европейских нормативных документах нормируемые параметры распределяются на первичные и вторичные. Под первичными понимаются показатели, характеризующие процессы, происходящие в тканях организма. Вторичные получаются путем пересчета первичных с помощью соответствующих коэффициентов. На частотах до 10 МГц в качестве первичного параметра принимается плотность тока  $J$ , А/м,

наведенного в тканях организма. В качестве вторичных – электрическая  $E$ , В/м, и магнитная  $H$ , А/м, напряженности падающего ЭМП (не искаженного отражением).

На частотах от 0,01 до 300 ГГц в качестве первичного параметра принимают удельную отнесенную к единице массы тела поглощенную мощность SAR (Specific Adsorption Rate), определяемую на единицу массы тела, Вт/кг (определяется по критерию нагрева тканей). В качестве вторичных параметров нормируют  $E$ ,  $H$  (на частотах <300 МГц) и плотность потока мощности  $P_{\text{п}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, – на частотах >300 МГц. Кроме того, источники поля делят по продолжительности воздействия: продолжительные (более 6 мин); непродолжительные (менее 6 мин); импульсные (продолжительностью менее 20 мс на протяжении 100 мс наблюдения).

В Европе допустимое значение SAR составляет 2 Вт/кг. В США ограничения более жесткие: федеральная комиссия по связи (FCC) сертифицирует только те сотовые аппараты, SAR которых не превышает 1,6 Вт/кг. Такой уровень излучения не приводит к существенно му нагреванию тканей, утверждают специалисты финского Центра радиационной и ядерной безопасности. Проведенное в этом научном институте исследование показало, что уровень SAR у 28 протестированных моделей телефонов находится в пределах от 0,45 до 1,12 Вт/кг. Излучение самых популярных на сегодняшний день в мире мобильных телефонов примерно совпадает с уровнем, заявленным производителями.

Нормы СанПиН нельзя перевести в единицы SAR простым расчетным путем. Для того чтобы определить соответствие новой модели сотового телефона российским стандартам, необходимо проводить лабораторные измерения. Эксперты отмечают, что российские требования фактически устанавливают более жесткие ограничения на мощность передатчиков сотовых телефонов, чем рекомендуют нормы Всемирной организации здравоохранения.

Однако, по мнению ВОЗ, такое завышение стандартов не имеет за собой никаких научных предпосылок. По их мнению, излучение мобильных телефонов меньше нормы.

Несмотря на то, что в США и Европе также действуют однофакторные нормы, фирмы электронной промышленности, строительные компании, медицинские и образовательные организации безопасность рабочих мест своего персонала и выпускаемую продукцию доводят до норм электромагнитной безопасности, не превышающих ПДУ стандарта ТСО 91 (99). Отечественным аналогом комплексных норм ПДУ

стандарта МРШ1990 8/10 является СанПиН 2.2.2.542-96. Но нормы стандарта ТСО 99 в России не приняты.

#### Библиографический список

1. **Агарышев А.И.**, Воробьев А.Н. Анализ измеренных и рассчитанных средних плотностей потоков электромагнитной энергии от обзорных радиолокаторов // Вестн. ИрГТУ. - 2010. - № 5(45). - С.230-234. - Библиогр.: 10 назв.
2. **Алтухов Д.А.**, Погожева Н.В. Об электромагнитной безопасности неэлектротехнического персонала на предприятиях электроэнергетики // Пром. энергетика. - 2007. - № 2. - С.53-55. - Библиогр.: 3 назв.

*В.С. Ащазулова, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЗНАЧЕНИЕ ЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ ДЛЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Заменимые аминокислоты, в отличие от незаменимых, синтезируются в организме человека и поступают с продуктами питания. К заменимым аминокислотам, которые необходимы для организма, относят:

Аланин, который является важным источником энергии для головного мозга и центральной нервной системы. Необходим он для поддержания тонуса мышц и адекватной половой функции, является регулятором уровня сахара в крови, участвует в синтезе антител (стимулирует иммунитет). Синтезируется из разветвленных аминокислот (лейцина, изолейцина, валина). Аланин широко распространен в живой природе. Организм стремится поддерживать постоянный уровень глюкозы в крови, поэтому падение уровня сахара и недостаток углеводов в пище приводит к тому, что белок мышц разрушается, и печень превращает полученный аланин глюкозу [1]. Природные источники аланина - кукуруза, говядина, яйца, желатин, свинина, молоко, соя, овес.

Аргинин относится к условно заменимым аминокислотам, оказывает стимулирующее действие на выработку инсулина поджелудочной железой в качестве компонента вазопрессина (гормона гипофиза) и помогает синтезу гормона роста, который, в свою очередь, улучшает сопротивляемость к заболеваниям. Он способствует восстановлению тканей, усиливает синтез белка для роста мышц, уменьшает уровень мочевины в крови и моче, участвует в процессах сжигания жира, превращения его в энергию. L- аргинин способен увеличивать мышечную и уменьшать жировую массу тела, делает человека более активным,

инициативным и выносливым, привнося определенное качество в психическую активность в поведение человека, обладает положительным психотропным эффектом. Недостаток аргинина в питании приводит к замедлению роста детей. Он интенсифицирует рост подростков, не показан детям, но может вызвать гигантизм. Аргинин не рекомендуется беременным и кормящим женщинам. Не рекомендуется при шизофрении. При недостатке аргинина и недостаточной активности НО-синтез диастолическое давление возрастает. Источниками аргинина являются: шоколад, кокосовые орехи, молочные продукты, желатин, мясо, овес, арахис, соевые бобы, грецкие орехи, белая мука, пшеница и пшеничные зародыши, кунжут, кукуруза.

Аспаргин помогает защитить центральную нервную систему, так как способствует выделению вредного аммиака из организма. Необходим для поддержания баланса в процессах, происходящих в центральной нервной системе; препятствует как чрезмерному возбуждению, так и излишнему торможению. Он участвует в процессах синтеза аминокислот в печени. Последние исследования указывают на то, что он может быть важным фактором в повышении сопротивляемости к усталости. Когда соли аспарагиновой кислоты давали атлетам, их стойкость и выносливость значительно повышались. Больше всего содержится в мясных продуктах.

Цистеин (цистин) является предшественником глутатиона - вещества, оказывающего защитное действие на клетки печени и головного мозга от повреждения алкоголем, некоторых лекарственных препаратов и токсичных веществ, содержащихся в сигаретном дыме, помогает обезвреживать некоторые токсичные вещества и защищает организм от повреждающего воздействия радиации. Он представляет собой один из самых мощных антиоксидантов, необходим для роста волос и ногтей. Прием цистина/цистеина с витаминами С и В1 не рекомендуются людям с сахарным диабетом, так как сочетание этих веществ может понизить эффективность инсулина. Источниками цистеина и цистина являются яйцо, овес, кукуруза.

Гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) – исполняет роль главного тормозящего нейротрансмиттера ЦНС, концентрация которой особенно высока в тканях головного мозга. Гамма-аминомасляная кислота улучшает метаболизм мозга, оказывает ноотропное, седативное и противосудорожное действие. Она особенно важна при сосудистых заболеваниях головного мозга, снижении интеллектуальных функций, энцефалопатии и депрессии. В экстремальных ситуациях ГАМК расщепляется с выделением большого количества энергии, тем самым обес-

печивает максимальную скорость работы мозга. Гамма-аминомасляная кислота синтезируется в нервной системе из глутаминовой кислоты.

Глицин является регулятором обмена веществ, нормализует и активизирует процессы защитного торможения в центральной нервной системе, уменьшает психоэмоциональное напряжение, усиливает умственную работоспособность. Он необходим для центральной нервной системы и хорошего состояния предстательной железы. Его применяют в лечении депрессивных состояний. Глицин способствует мобилизации гликогена из печени и считается исходным сырьем в синтезе креатина, важнейшего энергоносителя. Недостаток этой аминокислоты ведет к снижению уровня энергии в организме. Он обладает ноотропными свойствами, улучшает память и способность к обучению. Источниками глицина являются: желатин, говядина, печень, арахис и овес.

Глутаминовая кислота - аминокислота, играющая роль нейромедиатора с высокой метаболической активностью в головном мозге, стимулирует окислительно-восстановительные процессы в головном мозге, обмен белков, оказывает ноотропное действие. Нормализует обмен веществ, изменяя функциональное состояние нервной и эндокринной систем. Глутаминовая кислота может использоваться клетками головного мозга в качестве источника энергии. Глутаминовую кислоту используют при коррекции расстройств поведения у детей, а также при лечении эпилепсии, мышечной дистрофии, гипогликемических состояний, осложнений инсулинотерапии сахарного диабета и нарушений умственного развития. Источники глутаминовой кислоты: злаки, мясо, молоко, соя.

Глутамин (глутамин) формируется в мозге, необходим для детоксикации аммиака - побочного продукта протеинового обмена. Он также служит предшественником мозговых нейротрансмиттеров, таких как возбуждающий нейротрансмиттер глутамат и подавляющий нейротрансмиттер гамма-аминобутировая кислота. Гамма-аминомасляная кислота выполняет в организме функцию нейромедиатора центральной нервной системы. Гамма-аминомасляную кислоту назначают при лечении синдрома дефицита внимания. Глутамин очень легко проникает через гематоэнцефалический барьер и в клетках головного мозга переходит в глутаминовую кислоту и обратно. Глутамин находится в больших количествах в мышцах и используется для синтеза белков клеток скелетной мускулатуры. Глутамин улучшает деятельность мозга и поэтому применяется при эпилепсии, синдроме хронической усталости, импотенции, шизофрении. Пищевые добавки, содержащие глутамин, следует хранить только в сухом месте, иначе глутамин переходит в аммиак и пироглутаминовую кислоту. Не при-



нимают глютамин при циррозе печени, заболевания почек и синдроме Рейе. Глютамин содержится во многих продуктах как растительного, так и животного происхождения, но он легко уничтожается при нагревании. Шпинат и петрушка являются хорошими источниками глютамина, но при условии, что их потребляют в сыром виде.

Орнитин аминокислота, улучшающая метаболизм мозга, поэтому показанием к ее применению являются программы, нацеленные на повышение интеллектуальных функций. Орнитин помогает высвобождению гормона роста, который способствует сжиганию жиров в организме. Гормон роста представляет собой белок, состоящий из аминокислот. Синтез и секреция гормона роста осуществляется в передней доли гипофиза - эндокринной железе. Он выделяется передней долей гипофиза в течение дня путем пульсации, но особенно активно – после интенсивных упражнений или во время сна. Этот эффект усиливается при применении орнитина в комбинации с аргинином и карнитином. Орнитин также необходим для иммунной системы и работы печени, участвуя в дезинтоксикационных процессах и восстановлении печеночных клеток. Эта аминокислота способствует восстановлению поврежденных тканей. Он в организме синтезируется из аргинина и, в свою очередь, служит предшественником для цитруллина, пролина, глютаминовой кислоты.

Пролин, как заменимая аминокислота, выполняет вспомогательные ГАМК функции торможения ЦНС, содержится в большинстве белков. Он стал основой для создания нейрорептиков нового поколения запатентованных в России и США, которые показаны при инсультах, болезни Дауна, умственной отсталости и нарушении памяти. При его помощи, можно значительно повысить эффективность обучения. Много пролина содержится в твороге, в хрящах животных, в зернах злаков, яйцах.

Таурин оказывает защитное действие на головной мозг. Данная аминокислота в высокой концентрации содержится в сердечной мышце, ЦНС, белых клетках крови. Ее применяют для профилактики и лечения гиперактивности, беспокойства, возбуждения, эпилепсии. Синтезируется в организме человека при условии достаточного количества витамина В 6. Она содержится в молоке, мясе и рыбе.

Тирозин считается предшественником нейромедиаторов норэпинефрина и допамина, оказывает положительное инотропное действие. Эта аминокислота участвует в регуляции настроения; недостаток тирозина приводит к дефициту норэпинефрина, что, в свою очередь, приводит к депрессии. Тирозин подавляет аппетит, способствует уменьшению отложения жиров, способствует выработке мела-

тонина и улучшает функции надпочечников, щитовидной железы и гипофиза. Тирозин также участвует в обмене фенилаланина. Симптомами дефицита тирозина также являются пониженное артериальное давление, низкая температура тела и синдром беспокойных ног.

**Библиографический список:**

1. **Электронный источник** : fb.ru/article/8940/rol-belkov-v-org... копия
2. **Электронный источник**: coral-club-klim.com/p617763-aminoki...
3. **Электронный источник**: inflora.ru/diet/diet414.html копия

*Д.Н. Золотаева, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЗАВИСИМОСТЬ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ОТ ЖИРОВОГО ОБМЕНА**

Жиры – это вещества со сложным химическим строением, вводимые в организм с пищей и служат наиболее калорийной ее частью. Следовательно, пища, богатая жиром, широко используется при напряженной физической работе, а также при холодном климате, когда организм нуждается в выработке повышенного количества тепла. Общеизвестные пищевые жиры: сливочное и растительное масло, говяжий, свиной и другие жиры - представляющие сложные химические соединения. В других продуктах - в хлебе, крупах, макаронных изделиях и бобах - жиров сравнительно мало. Однако и они могут при дальнейших превращениях образовывать в организме жировые вещества. Практически все овощи не содержат жиров.

По норме человек должен потреблять от 80 до 100 г жиров в день, в зависимости от роста, веса, затрат энергии и своих привычек. Для того чтобы переварить и усвоить пищевые вещества (том числе и жиры), организм человека снабжен рядом специфических приспособлений. В полости рта пища пережевывается, смачивается слюной и обрабатывается специальным ферментом - пталином. Затем пища попадает в желудок, где подвергается действию кислого желудочного сока, желудочного фермента - пепсина; и, наконец, пища переходит в кишечник, куда поступает желчь, сок поджелудочной железы и кишечный сок с многочисленными кишечными ферментами [1]. В кишечнике, главным образом тонких кишках, происходит всасывание расщепленных пищевых веществ, превращенных в элементарные химические соединения. Сложным процессом всасывания различных составных частей пищи, в том числе и жиров, начинается обмен веществ. Глав-

ная же обработка жиров происходит в тонких кишках, где под влиянием ферментов поджелудочной железы (липазы) и желчи образуются мелко эмульгированные жиры, которые расщепляются на глицерин и высшие жирные кислоты. Глицерин легко всасывается, а жирные кислоты всасываются после соединения их с желчными кислотами. После всасывания происходит новое образование жиров (ресинтез) в стенке кишечника; эти жиры (нейтральные жиры) в эмульгированном виде поступают в лимфатические сосуды, которые переносят их в воротные и печеночные вены. Другие жировые вещества (липоиды) при всасывании попадают в кровеносные капилляры и разносятся по всему организму [2].

В дальнейших превращениях жирового обмена большое значение имеют легкие, которые способствуют отложению или разрушению жировых веществ. В печени также происходят сложные процессы образования и распада жировых и жироподобных веществ. Поэтому роль печени регуляции жирового обмена чрезвычайно велика. Жировые вещества могут частично распадаться в крови. Общее количество жира у человека сильно колеблется в зависимости от питания, возраста, пола, а также в связи с его физической нагрузкой.

Исследованиями установлено, что у здоровых женщин общее количество жира значительно выше, чем у мужчин. В среднем возрасте и при среднем общем питании количество чистого жира должно составлять у женщин не менее 15-25% общего веса; у мужчин этого возраста при аналогичном питании количество жира достигает лишь 8-12% от веса [3]. Всеми этими сложными процессами всасывания, отложения и расщепления жира в организме человека управляет нервная система – пищевой (или жировой) центр. Пищевой центр регулирует все основные процессы питания, благодаря чему происходит нормальное всасывание, сгорание и отложение поступающих в организм пищевых веществ. При ожирении в большинстве случаев имеется перевозбуждение пищевого центра, что ведет к повышению аппетита больного и нарушению процессов питания. Вследствие сложных связей, в работе пищевого и жирового центра участвуют как внутренние органы, так и железы внутренней секреции. В гормональной регуляции жирового обмена важное значение имеет мозговой придаток, в котором образуются и выделяются в кровь два «жировых гормона». Избыточное выделение гормонов и ряда других желез внутренней секреции также может иметь значение для образования и отложения жиров. Например, часть поджелудочной железы, называемая островковой, выделяет гормон инсулин, играющий важную роль в усвоении углеводов и их в дальнейших превращениях. К тем же результатам может привести из-

быточное образование гормона коры надпочечников. Таким образом, повышенная работа некоторых желез внутренней секреции часто ведет к усиленному образованию и отложению в организме жировых веществ. Другие железы внутренней секреции (эндокринные) могут выделять гормоны, способствующие мобилизации отложившегося жира (например, щитовидная железа, мозговая часть надпочечников, отчасти половые железы и другие). Следовательно, регуляция жирового обмена в организме человека и животного является весьма сложным процессом, в котором принимают участие все органы и ткани. Особенно важную роль в процессах регуляции жирового обмена, помимо эндокринных желез, играют некоторые внутренние органы - печень, легкие, кровеносная и лимфатическая системы, наконец, сама жировая клетчатка, то есть те органы, куда попадают всосавшиеся жироподобные вещества и которые участвуют в дальнейшем их перераспределении.

Многочисленными исследованиями выявлено, что у здорового человека хорошо функционируют многочисленные приспособления, препятствующие чрезмерному образованию и отложению жира. У людей же, имеющих склонность к ожирению, всасывание и отложение жиров повышены. Жировая ткань обладает особой способностью образовывать жиры из углеводов; способность использовать отложенных жиров у таких больных резко снижена. В результате этих особенностей у организма человека, имеющая склонность к ожирению, запасы жира растут гораздо быстрее, чем с нормальным обменом веществ. Причины ожирения можно подразделить на две большие группы: 1) причины внешние, лежащие вне организма человека; 2) причины внутренние - связанные с нарушением функций различных внутренних органов и их систем.

К числу внешних причин ожирения следует отнести в первую очередь неправильное питание; оно может быть избыточным в количественном отношении и нерациональным по составу принимаемых питательных веществ. В основе более чем половины случаев ожирений лежит переизбыток. К тому же эти больные мало двигаются и нарушают режим питания. Способствует ожирению и злоупотребление алкогольными напитками. Ежедневное применение алкоголя, особенно из крепких спиртовых изделий, довольно часто ведет к ожирению. Основной причиной этого является постепенно развивающееся отравление центральной нервной, сердечно-сосудистой систем, печени и других органов. При употреблении алкогольных напитков часто повышается аппетит, что, в свою очередь, приводит к переизбытку. Особенно вредно в этом отношении злоупотребление пивом, так как при этом

наряду с алкоголем, вводится также и значительное количество жидкости.

Из внешних причин, способных в дальнейшем вызвать нарушения жирового обмена, следует упомянуть об ушибах, ранениях и некоторых хирургических вмешательствах; хотя количество случаев ожирения, связанных с этими причинами невелико (около 2% всех случаев), однако нужно учитывать и эту возможность. Особенно опасны в этом смысле ушибы, контузии или ранения головы. В результате их могут развиваться различные поражения мозга, способные привести к нарушению жирового обмена.

Некоторые операции (операции на половых органах) могут вызвать в дальнейшем нарушение деятельности внутренней секреции, что может привести к последующему ожирению. Ожирение может развиваться в результате ряда других внутренних причин. Наблюдаются случаи быстрого развития ожирения, связанные с сильными психическими потрясениями. Возникновение этих форм ожирения связано с нарушением регуляции жирового обмена со стороны центральной нервной системы. Наиболее частой внутренней причиной развития ожирения служит нарушения работы желез внутренней секреции и эндокринной системы. Многие болезни эндокринной системы могут вызвать повышенное отложение жиров. Однако эти отложения в большинстве случаев носят своеобразный, «атипичный» характер. Иногда жир откладывается преимущественно в области затылка и лица, в других случаях откладывается - на бедрах и боках. К числу внутренних причин, способствующих возникновению некоторых форм ожирения, относятся также острые, хронические и инфекционные заболевания. Как во время их течения, так и после окончания могут возникнуть различные осложнения, которые вызывают нарушения работы различных отделов аппарата, регулирующего жировой обмен.

Многие инфекционные заболевания могут давать осложнения с повреждением любых отделов аппарата жирового обмена. К их числу, вызывающих нарушение жирового обмена, относятся сыпной и возвратный тиф, сифилис и другие болезни. Иногда вследствие длительного лежания в постели и избыточного питания больного в период выздоровления ведет к развитию значительных жировых отложений. Людям, предрасположенным к нарушениям обмена веществ, особенно важно в этих случаях следить за своим весом, у данных лиц ожирение значительно легче развивается и прогрессирует. Ученые считают, что предрасположенность к ожирению явление наследственное. Однако было бы неправильно думать, что болезни обмена веществ, в том числе и ожирение, обязательно передаются потомству.

В настоящее время многочисленными наблюдениями установлено, что правильно организованный режим жизни и питания в большинстве случаев обеспечивает развитие здорового потомства даже у больных родителей. Все же в этих случаях необходимо более тщательное врачебное наблюдение и руководство.

**Библиографический список:**

- 1.Электронный источник: [kakzdorovo.ru/library/ozhirenie\\_and...](http://kakzdorovo.ru/library/ozhirenie_and...) копия
- 2.Электронный источник: [eurolab.ua/symptoms/disorders/1...](http://eurolab.ua/symptoms/disorders/1...) копия
- 3.Электронный источник: [narmed24.ru/zhirovoj-gepatoz-pechen...](http://narmed24.ru/zhirovoj-gepatoz-pechen...)

*А.Н. Крупина, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ – ФАКТОР УСТОЙЧИВОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Аминокислоты представляют собой сложные структурные химические единицы или «строительные материалы», формирующие белковые вещества. Организм, усваивая аминокислоты, воспроизводит десятки тысяч белков и ферментов, непосредственно влияя при этом на деятельность центральной нервной системы и мозга, а также на нормальное развитие и функционирование других органов.

Они, как и белки, на 16% состоят из азота, это является основным химическим отличием от двух других, поступающих в организм человека элементов питания - углеводов и жиров. Необходимость аминокислот для организма определяется той огромной ролью, которую играют белки во всех процессах жизнедеятельности человека. Любой живой организм от самых крупных животных до крошечного микроба состоит из множества белковых соединений. Различные формы белков принимают активное участие во всех жизненных процессах, происходящих в организмах. В теле человека из белков формируются мышцы, связки, сухожилия, все органы и железы, волосы и ногти; белки входят в состав жидкостей и костей. Ферменты и гормоны, катализирующие и регулирующие все процессы в организме, также являются белковыми соединениями. Всосавшиеся из кишечника аминокислоты поступают непосредственно в кровь и частично в лимфатическую систему, представляя собой запас разнообразных азотистых веществ, которые затем участвуют в различных видах обмена веществ организма. Аминокислоты, всосавшиеся в кровь из кишечника, циркулируют в крови 5-10 мин и очень быстро поглощаются печенью, частично почками и серд-

цем. Увеличение времени этой циркуляции указывает на нарушение способности тканей и органов (в первую очередь печени) поглощать аминокислоты. Белки в организме находятся в состоянии непрерывного обмена и обновления. У здорового взрослого человека количество выработанного белкового вещества за сутки должно соответствовать количеству вновь сформированного. Человек может усваивать азот только в составе аминокислот, поступающих в организм с белками пищи. Десять аминокислот из двадцати, в случае их недостаточного поступления с пищей, не могут быть синтезированы в организме. Эти аминокислоты называют незаменимыми. Поэтому незаменимые аминокислоты - крайне необходимы. Их поступление с принимаемой пищей чрезвычайно важно. Незаменимыми для взрослого здорового человека являются 8 аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин; для детей незаменимыми также считаются аргинин и гистидин. Важным фактором обмена белков является повторное использование аминокислот организмом, образовавшихся при распаде одних белковых молекул для синтеза других [1]. Отсутствие или недостаток незаменимых аминокислот приводит к остановке роста, падению массы тела, нарушениям обмена веществ, при острой недостаточности - к гибели организма.

Помимо того, что аминокислоты формируют белки, входящие в состав тканей и органов живого организма, некоторые из них выполняют еще роль нейромедиаторов или являются их предшественниками. Нейромедиаторы - это химические вещества, передающие нервный импульс с одной нервной клетки на другую. Аминокислоты способствуют тому, что витамины и минералы адекватно выполняют свои функции. Некоторые аминокислоты непосредственно снабжают энергией мышечную ткань [2].

*Валин* необходим для метаболизма в мышцах, восстановления поврежденных тканей и для поддержания нормального обмена азота в организме. Он может быть использован мышцами в качестве источника энергии. Чрезмерно высокий уровень его приводит к парестезии (ощущение мурашек на коже). Содержится валин в следующих пищевых продуктах: в зерне, мясе, грибах, молочных продуктах, арахисе. В случае приема валина в виде пищевых добавок следует сбалансировать с приемом других аминокислот.

*Лейцин* защищает мышечные ткани и является источником энергии, способствует восстановлению костей, кожи и мышц. Лейцин несколько понижает уровень сахара в крови и стимулирует выделение гормона роста. Биологически активные пищевые добавки содержащие лейцин, применяются в комплексе с валином и изолейцином. Лейцина много

содержится в рыбе, чечевице, большинстве злаковых семян, курице, пшеничной и соевой муке, орехах, в буром рисе, бобах, мясе.

*Изолейцин* крайне необходимым организму для синтеза гемоглобина. Он также стабилизирует и регулирует уровень сахара в крови и процессы энергообеспечения. Метаболизм изолейцина происходит в мышечной ткани. Он широко используется спортсменами, так как увеличивает выносливость и способствует восстановлению мышечной ткани. К естественным источникам изолейцина относятся: миндаль, куриное мясо, яйцо, рыба, чечевица, печень, мясо, зерно ржи, соевые белки.

*Треонин* - аминокислота, способствующая поддержанию нормального белкового обмена в организме человека. Он важен для синтеза коллагена и эластина, помогает работе печени и участвует в обмене жиров. В основном он находится в сердце, центральной нервной системе, скелетной мускулатуре и препятствует отложению жиров в печени. Эта аминокислота стимулирует иммунитет. Содержится в молочных продуктах, яйцах, орехах, бобах.

*Метионин* - помогает переработке жиров, предотвращая их отложение в печени и на стенках артерий. Данная аминокислота способствует пищеварению, защищает организм от воздействия радиации, полезна при остеопорозе и химической аллергии. Его применяют в комплексной терапии ревматоидного артрита и токсикоза беременности. Пищевыми источниками метионина являются бобовые, яйцо, чеснок, чечевица, мясо, лук, соевые бобы, семена и йогурт.

*Фенилаланин* в организме может превращаться в другую аминокислоту - тирозин, которая, в свою очередь, используется в синтезе двух основных нейромедиаторов: допамина и норэпинефрина. Поэтому данная аминокислота влияет на настроение, уменьшает боль, улучшает память и способность к обучению и подавляет аппетит. Его применяют при лечении артрита, депрессии, мигрени, ожирении. Биологически активные пищевые добавки, содержащие фенилаланин, не рекомендуются использовать беременным женщинам, лицам с диабетом, высоким артериальным давлением и фенилкетонурией. Достаточно много фенилаланина содержат: бобовые, орехи, говядина, куриное мясо, рыба, яйца, творог, молоко. Данная аминокислота формируется в организме при распаде синтетического заменителя сахара - аспартама, активно используемого в пищевой промышленности.

*Триптофан* - аминокислота, необходимая для синтеза ниацина. Она используется для формирования в головном мозге серотонина, одного из важнейших нейромедиаторов. Триптофан применяют при бессоннице, депрессии и для стабилизации настроения. Он используется при



заболеваниях сердца, для контроля за массой тела, при уменьшении аппетита, а также для увеличения выброса гормона роста. Триптофан снижает вредное воздействие никотина.

К источникам триптофана относят: бурый рис, деревенский сыр, мясо, арахис и соевый белок, бобовые, овёс, бананы, сушёные финики, кунжут, кедровые орехи, молоко, йогурт, творог, рыбу, курицу, индейку.

*Лизин* входит в состав практически любых белковых веществ. Он чрезмерно необходим для нормального формирования костей и роста детей, способствует усвоению кальция и поддержанию азотного обмена у взрослых людей. Лизин участвует в синтезе антител, гормонов, ферментов, формировании коллагена и восстановлении тканей. Его применяют в восстановительный период после операций и спортивных травм. Прием добавок, содержащих лизин в комбинации с витамином С и биофлавоноидами, рекомендуется при вирусных заболеваниях.

Содержат лизин в достаточном количестве: рыба, мясо, молочные продукты, пшеница, орехи, амарант.

*Аргинин* замедляет рост опухолей, в том числе раковых, вследствие стимуляции иммунной системы организма. Его применяют также при заболеваниях печени (циррозе и жировой дистрофии), способствует дезинтоксикационным процессам в печени (прежде всего обезвреживанию аммиака). Семенная жидкость содержит аргинин; поэтому применяют его иногда в комплексной терапии при лечении бесплодия у мужчин [2]. В соединительной ткани и в коже содержится также большое количество аргинина, следовательно он эффективен при различных травмах.

В начале 90-х годов прошлого столетия ученые обнаружили, что аргинин регулирует содержание в крови окиси азота, которая отвечает за управление кровотоком, работу иммунной системы, коммуникацию между нервными клетками, функцию печени, свертывание крови и так далее. Аргинин - важный компонент обмена веществ в мышечной ткани, помогает снизить массу тела

Содержится в семенах тыквы, свинине, говядине, арахисе, кунжуте, йогурте, швейцарском сыре.

*Гистидин* как и предыдущие аминокислоты считается также незаменимой, который способствует росту и восстановлению тканей. Гистидин входит в состав миелиновых оболочек, защищающих нервные клетки, а также необходим для формирования красных и белых клеток крови. Слишком высокое содержание гистидина может привести к возникновению стресса и даже психическим нарушениям (возбуждению и психозам).

Гистидин легче других аминокислот выделяется с мочой. Поскольку он связывает цинк, большие дозы его могут привести к дефициту этого металла.

Метионин способствует понижению уровня гистидина в организме. Гистамин очень важный компонент многих иммунологических реакций, который синтезируется из гистидина.

Природные источники гистидина: бананы, рыба, говядина, пшеница и рожь.

#### Библиографический список:

1. Электронный ресурс: [coral-club-klim.com/p617763-aminoki...](http://coral-club-klim.com/p617763-aminoki...)
2. Электронный ресурс : [fb.ru/article/8940/rol-belkov-v-org...](http://fb.ru/article/8940/rol-belkov-v-org...) копия

*В.С. Ацаулова, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

Углеводы - это обязательный и наиболее значимый компонент пищи. За сутки человек обычно потребляет 400-600 г различных углеводов. Как необходимый участник метаболизма организма, углеводы включены практически во все виды обмена веществ: нуклеиновых кислот (в виде рибозы и дезоксирибозы), белков, липидов, нуклеозидов, нуклеотидов (например, АТФ, АДФ, АМФ), ионов (обеспечивая энергией их трансмембранный перенос и внутриклеточное распределение). Как важный компонент клеток и межклеточного вещества, углеводы входят в состав структурных белков (например, гликопротеинов), гликолипидов, гликозаминогликанов и других веществ. Они одни из главных источников энергии, которые необходимы для обеспечения жизнедеятельности организма.

Наиболее важны углеводы для нервной системы. Ткань мозга использует примерно 2/3 всей глюкозы, поступающая в кровь. Типовые формы нарушений углеводного обмена - многочисленные расстройства метаболизма углеводов, которые условно объединяют в несколько групп: гипогликемии, гипергликемии, гликогенозы, гексоз- и пентоземии, агликогенозы.

Многие лизосомные гликозидазы, дефект которых лежит в основе наследственных нарушений углеводного обмена, существуют в виде различных форм, так называемых множественных форм или изоферментов.

Углеводный обмен – это совокупность процессов превращения моносахаридов и их производных, а также гомополисахаридов, гетерополисахаридов и различных содержащих углеводных биополимеров, в организме человека. В результате углеводного обмена происходит снабжение организма энергией, осуществляются процессы передачи биологической информации и межмолекулярные взаимодействия, обеспечиваются резервные, структурные, защитные и другие функции. Углеводные компоненты многих веществ, например, гормонов, ферментов, транспортных гликопротеинов, являются маркерами этих веществ, благодаря которым их «узнают» специфические рецепторы плазматических и внутриклеточных мембран. Синтезирование и превращения углеводов в организме являются важными биохимическими процессами, они считаются не только источниками энергии, но и предшественниками пентоз, фосфорных эфиров и уроновых кислот. Глюкоза синтезируется из гликогена и углеводов пищи- сахарозы, лактозы, крахмала, декстринов и углеводных предшественников. Этот процесс носит название глюконеогенеза, который играет важнейшую роль в поддержании в организме гомеостаза (равновесия). В данном процессе участвует множество ферментов и ферментных систем, локализованных в различных клеточных органеллах. Процесс глюконеогенеза происходит в основном в печени и почках. В ходе пентозофосфатного процесса происходит последовательное отщепление от углеродной цепи сахара по одному атому углерода в виде  $\text{CO}_2$ . Гликолиз также играет важную роль не только в энергетическом обмене, но и в образовании промежуточных продуктов синтеза липидов, приводит к образованию рибозы и дезоксирибозы, необходимых для синтеза нуклеиновых кислот и ряда коферментов.

В синтезе гликогена участвуют в основном два фермента: гликогенсинтетаза и гликоген-4 $\alpha$ -глюкозилтрансфераза, катализирующие образование полисахаридных цепей и ветвящийся фермент, образующие в молекулах гликогена, так называемые связи ветвления. Для синтеза гликогена необходима «затравка», Такую роль выполняют либо глюкозиды с различной степенью полимеризации, либо белковые предшественники, к которым при участии особого фермента глюкопротеинсинтетазы присоединяются глюкозные остатки. Распад гликогена осуществляется фосфоролитическим или гидролитическим путем. Гидролитический распад гликогена вызван действием ряда других ферментов, называемых амилазами [1].

Гликозидазы играют важную роль в различных биологических процессах: они могут оказывать влияние на специфический рост трансформированных клеток, на взаимодействие клеток с вирусами и

другие явления. Имеются данные о возможности неферментативного гликозилирования белков, например, гемоглобина, белков хрусталика глаза и коллагена. Имеются сведения о том, что неферментативное гликозилирование играет важную патогенетическую роль при некоторых заболеваниях (сахарном диабете, галактоземии и т.д.) [2].

Переваривание углеводов в организме человека начинается в ротовой полости при участии гидролитических ферментов слюны. Гидролиз ферментами слюны продолжается в желудке (здесь сбраживание углеводов предотвращается соляной кислотой желудочного сока). В двенадцатиперстной кишке полисахариды пищи (крахмал, гликоген и другие) и сахара (олиго- и дисахариды) расщепляются при участии  $\alpha$ -глюкозидаз и других гликозидаз сока поджелудочной железы до моносахаридов, которые всасываются в тонкой кишке в кровь. Скорость всасывания углеводов различна, быстрее всех всасываются глюкоза и галактоза, медленнее - фруктоза, манноза и другие сахара. Регуляция углеводного обмена в организме человека осуществляется при участии очень сложных механизмов, которые могут оказывать влияние на индуцирование или подавление синтеза различных ферментов углеводного обмена либо способствовать активации или торможению их действия. Инсулин, катехоламины, глюкагон, соматотропный и стероидные гормоны оказывают различное, но очень выраженное влияние на разные процессы углеводного обмена. Инсулин способствует накоплению в печени и мышцах гликогена, активируя фермент гликогенсинтетазу, и подавляет гликогенолиз и глюконеогенез. Антагонист инсулина - глюкагон стимулирует гликогенолиз. В регуляции ферментативных реакций углеводного обмена важная роль отводится ионам кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), непосредственно или при участии гормонов, часто в связи с особым связывающим белком - калмодулином. В организме существует прямая связь между углеводным обменом и обменом белков, липидов и минеральных веществ. Патологии углеводного обмена происходят при увеличении содержания глюкозы в крови - гипергликемия, которая может происходить вследствие чрезмерно интенсивного глюконеогенеза либо в результате понижения способности утилизации глюкозы тканями, при нарушении процессов ее транспорта через клеточные мембраны. Уменьшение содержания глюкозы в крови (гипогликемия) может являться симптомом различных заболеваний и патологических состояний, особенно уязвимым в этом отношении является мозг; следствием гипогликемии могут быть необратимые нарушения его функций. Генетически обусловленные дефекты ферментов углеводного обмена являются также причиной многих наследственных болезней. Примером генетически обусловленного наслед-

ственного нарушения обмена моносахаридов может служить галактоземия, развивающаяся в результате дефекта синтеза фермента галактозо-1-фосфатуридилтрансферазы. Характерными признаками галактоземии считаются гипогликемия, галактозурия, появление и накопление в крови галактозо-1-фосфата, а также снижение массы тела, жировая дистрофия и цирроз печени, желтуха, катаракта, развивающаяся в раннем возрасте, задержка психомоторного развития [3]. Примером наследственной непереносимости моносахаридов является непереносимость фруктозы, которая вызывается генетическим дефектом фруктозофосфатальдолазы, а в ряде случаев снижением активности. Болезнь характеризуется поражениями печени и почек. Заболевания, вызванные дефектами в обмене олигосахаридов, в основном заключаются в нарушении расщепления и всасывания углеводов пищи, это происходит главным образом в тонкой кишке. Болезни, вызванные нарушением обмена гликогена, составляют группу наследственных энзимопатий, объединенных под названием гликогенозов. Гликогенозы характеризуются избыточным накоплением гликогена в клетках, которое может сопровождаться изменением структуры молекул этого полисахарида. Гликогенозы относят к так называемым болезням накопления-гликогенная болезнь, которая наследуется по аутосомно-рецессивному или сцепленному с полом типу. Почти полное отсутствие в клетках гликогена отмечают при агликогенозе, причиной которого является полное отсутствие или сниженная активность гликогенсинтетазы печени. В зависимости от того, какое соединение аномально и накапливается в организме, различают гликолипидозы, гликопротеиноды, мукополисахаридозы.

Большинство болезней накопления протекает крайне тяжело, многие из них пока неизлечимы. Клиническая картина при различных болезнях накопления может быть сходной, и, напротив, одно и то же заболевание может проявляться по-разному у разных больных. При различных мукополисахаридозах, а также при некоторых других болезнях накопления выводятся с мочой в значительных количествах различающиеся по структуре олигосахариды. При некоторых заболеваниях серьезные нарушения углеводного обмена возникают вторично. Примером такого заболевания является сахарный диабет, обусловленный либо поражением  $\beta$ -клеток островков поджелудочной железы, либо дефектами в структуре самого инсулина или его рецепторов на мембранах клеток чувствительных к инсулину тканей. Алиментарные гипергликемия и гиперинсулинемия ведут к развитию ожирения, что увеличивает липолиз и использование неэтерифицированных жирных кислот в качестве энергетического субстрата. Это ухудшает утилиза-

цию глюкозы в мышечной ткани и стимулирует глюконеогенез. В свою очередь, избыток в крови и инсулина ведет к увеличению синтеза в печени триглицеридов и холестерина и, соответственно, к увеличению концентрации в крови липопротеинов очень низкой и низкой плотности. Одной из причин, способствующих развитию таких тяжелых осложнений при диабете, как катаракта, нефропатия, англопатия и гипоксия тканей, является неферментативное гликозилирование белков.

**Библиографический список:**

1. **Видершайн Г.Я.** Биохимические основы гликозидозов, М., 1980;
2. **Розенфельд Е.Л., Попова И.А.** Врожденные нарушения обмена гликогена, М., 1989;
3. **Электронный источник:** [24farm.ru/narushenie\\_obmena\\_ves...](http://24farm.ru/narushenie_obmena_ves...) копия
4. **Электронный источник:** [50505.ru/stati/spetsialnye/index.ph...](http://50505.ru/stati/spetsialnye/index.ph...) копия

*С.И. Романишин, Д.А. Степанов, студенты;  
рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

В наше время, развитие информационных технологий стремительной скоростью движется вперед. Применение таких технологий используется в различных видах деятельности. В данной статье, мы предлагаем рассмотреть возможности применения современных информационных технологий в области охраны труда и промышленной безопасности.

В связи с такими понятиями, как «производственный травматизм» и «несчастный случай», актуальной становится проблема, связанная с уменьшением показателей прямо или косвенно относящихся к данным понятиям.

Большую роль в снижении данных показателей играет непосредственный контроль над работником, в момент совершения им какой – либо производственной операции. Дистанционно, контроль над деятельностью рабочего персонала, можно осуществлять путем видео наблюдения, но при этом необходимо наличие обратной связи между рабочим персоналом и персоналом управления.

Обратная связь позволяет осуществлять корректировку действий рабочего персонала со стороны персонала управления, а также дает возможность рабочему персоналу осуществлять передачу сообщений о проделанной работе или замечаниях, выявленных в процессе трудовой деятельности.

В случаи аварийных ситуаций, системы видеонаблюдения и системы обратной связи позволяют в кратчайшие сроки выявить число пострадавших и получить графические и видео материалы с места аварии. Данная функция в значительной мере увеличивает возможности наиболее правильного планирования действий, направленных на ликвидацию аварии.

Решение задачи, связанной с осуществлением обратной связи, выдвинула компания R-Style. Данная компания предлагает осуществлять контроль над деятельностью персонала, при помощи специального наручного браслета. Данный браслет содержит в себе встроенный датчик, определяющий сердцебиение человека. На основе полученного

сигнала предоставляется возможность определить местонахождение работника и осуществлять передачу персональной информации о его перемещениях и физическом состоянии. Работа данного браслета осуществляется при взаимодействии с автоматизированной системой охраны труда, которая в течение рабочего дня производит сбор данных, с последующей их анализированной обработкой и помещением в архив.

Систему получения данных в момент аварии или несчастного случая предложила Австралийская компания Pelsys. Данная система производит обмен информацией посредством сети интернет. Через интернет информация поступает на специальные приложения, которые также могут быть установлены на таких мобильных устройствах, как iPad и Samsung Galaxy.

Это позволяет осуществлять контроль над ситуацией, находясь вдали от непосредственного рабочего места.

Современные информационные технологии также позволяют производить контроль состояния рабочего персонала перед началом совершения им рабочей деятельности. Системы контроля позволяют определить отклонение от нормативных значений по следующим показателям:

- состояние алкогольного и наркотического опьянения;
- психофизиологическое состояние;
- уровень знаний рабочего персонала в области безопасности труда, а также в области выполняемых им работ.

В связи с поступлением нововведений и изменений в законодательстве охраны труда, также происходят изменения в планах организационных мероприятий, проектных решениях и т.д. Вышеупомянутая компания Pelsys, предложила обмен и этой информацией через специальное приложение для мобильных устройств. Это позволяет в значительной мере сократить время на ознакомление персонала с поступившими нововведениями, а также согласование решений по обеспечению безопасности в дальнейшей работе.

Таким образом, применение современных информационных технологий в области охраны труда и промышленной безопасности, в значительной мере позволяет сделать деятельность рабочего персонала наиболее безопасной и благоприятной.

#### Библиографический список

1. **Ольга Иванова.** Охрана авт. труда в «облаках»  
<http://ohranatruda.ru/news/901/150677/>

*Ю.В. Асафьева, студ.; рук. Е.А. Пышненко, к.т.н., доц.*



(ИГЭУ, г. Иваново)

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

Предлагается подход к оценке профессиональных рисков, основанный на использовании показателя "безопасный стаж", определяющего период накопления рисков профессиональных заболеваний:

$$R_{\text{порог}} = \sum_{n=1}^N R_n, \quad (1)$$

где  $R_{\text{порог}}$  – пороговое значение риска, при котором дальнейшая профессиональная деятельность опасна с позиций возможного профессионального заболевания;  $R_n$  – профессиональный риск в  $n$ -м году;  $N$  – период накопления рисков (безопасный стаж в годах).

Когда условия труда неизменны можно предположить, что:

$$R_n = R = \text{const} \quad \forall n \in [1, N].$$

С помощью соотношения (1) можно определить показатель "безопасный стаж":

$$N = \frac{R_{\text{порог}}}{R}. \quad (2)$$

Работник, отработавший период времени, определяемый как "безопасный стаж" (2), в течение которого накапливаемая вероятность профессионального заболевания достигает установленного порога опасности, должен получить льготы и компенсации, установленные в Федеральном законе "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний". Выработка "безопасного стажа" может рассматриваться как страховой случай без обязательной медико-социальной экспертизы, если такая необходимость не возникает.

Для снижения профессионального риска  $R_n$  необходимо улучшать условия труда, а также повышать квалификацию работников, что требует материальных затрат  $Z$ . Эффективность этих затрат должна быть, очевидно, связана с уменьшением профессионального риска. В этом случае уравнение (1) можно представить в следующем виде:

$$R_{\text{порог}} = \sum_{n=1}^M R_n(Z),$$

где  $M$  – период накопления рисков при дополнительных затратах на улучшение условий труда,  $M > N$ ;  $R_n(Z)$  – риски, зависящие от понесенных затрат  $Z$  и эффективности их вложений.

Показатель "безопасный стаж" является функцией затрат на организацию и улучшение условий труда. Оптимальными представляются вложения, когда организация и условия труда приближают "безопасный стаж" к пенсионному пределу.

Работник, имеющий трудовой договор с фиксированным уровнем "безопасного стажа", в большей степени социально защищен, так как выплата льгот и компенсаций зависит и от периода накопления рисков, а не только от зарегистрированного факта профессионального заболевания.

Как правило, для снижения риска требуется разработка и внедрение нескольких мероприятий, общие затраты на которые значительно превышают годовой фонд предприятия, направляемый на цели улучшения условий и охраны труда. По некоторым опасным и вредным факторам могут быть использованы альтернативные предложения, т.е. по несколько вариантов решений, обоснованный выбор из которых возможен путем построения и исследования следующей математической модели:

$$I = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij0} - b_{ij} \cdot W_{ij}) \cdot N_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij} &\leq W_Q, \\ x_{ij0} - b_{ij} \cdot W_{ij} &\leq x_{ij0}, \\ W_{ij} &\geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \end{aligned}$$

где  $x_{ij0}$  – начальные балльные оценки риска по всем неблагоприятным факторам рабочей среды, тяжести и напряженности трудовых процессов;  $x_{ij}$  – планируемые балльные оценки;  $W_{ij}$  – планируемые затраты на снижение риска по  $ij$ -му опасному или вредному производственному фактору (ОВПФ) до уровня требования норм и правил охраны труда;  $N_{ij}$  – число работников, находящихся под воздействием  $ij$ -го ОВПФ;  $W_Q$  – общий бюджет на мероприятия по снижению риска на весь период, для которого составляется программа снижения;  $Q$  – число лет, составляющих период времени планирования, обычно  $Q = 3 \dots 5$  лет.

В качестве управляемых переменных в рассматриваемой модели могут использоваться непосредственно значения факторов рабочей среды

$\beta_{11}$ . Пусть в производственном помещении выявлены повышенная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны и недостаточная освещенность. Концентрация  $C$  вредных веществ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , связана с искомыми затратами  $W_3$  следующим образом:

$$C = C_{\phi} - \frac{(C_{\phi} - C_{\text{ПДК}})}{W_{\text{зп}}} \cdot W_3, \quad (3)$$

где  $C_{\phi}$  – фактическая концентрация вредных веществ;  $C_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая концентрация этих веществ по нормативам;  $W_{\text{зп}}$ ,  $W_3$  – планируемые и искомые затраты на снижение загрязнения соответственно.

Из выражения (3) получаем:

$$W_3 = C_{\phi} - \frac{(C_{\phi} - C_{\text{ПДК}}) \cdot W_{\text{зп}}}{C_{\phi} - C_{\text{ПДК}}}.$$

Затраты на повышение освещенности определяем по формуле:

$$W_{\text{осв}} = \frac{(E - E_{\phi}) \cdot W_{\text{освп}}}{E_{\text{н}} - E_{\phi}}.$$

С учетом приведенных выражений получаем после преобразований следующую математическую модель:

$$I = 2 \cdot \left( \frac{C_{\phi}}{C_{\text{ПДК}}} \right)^{0,55} \cdot N_3 + 2 \cdot \left( \frac{E_{\text{н}}}{E} \right)^{1,2} \cdot N_{\text{осв}} \rightarrow \min,$$

при ограничениях:

$$a_{\text{осв}} E - a_3 C \leq W - A; \quad E \geq E_{\text{н}}; \quad C \leq C_{\text{ПДК}};$$

$$a_{\text{осв}} = \frac{W_{\text{освп}}}{E_{\text{н}} - E_{\phi}};$$

$$a_3 = \frac{W_{\text{зп}}}{C_{\phi} - C_{\text{ПДК}}};$$

$$A_{\text{осв}} = \frac{E_{\phi} W_{\text{освп}}}{E_{\text{н}} - E_{\phi}} - \frac{C_{\phi} W_{\text{зп}}}{C_{\phi} - C_{\text{ПДК}}},$$

где  $N_3$  и  $N_{\text{осв}}$  – число работающих соответственно при повышенной загазованности и пониженном освещении.

Управление снижением профессиональных рисков должно обеспечивать повышение безопасности рабочей среды, уменьшение частоты несчастных случаев, совершенствование организации технологических процессов.

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс: <http://www.dissercat.com>

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

## **ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПРОФЕССИИ «МОТОРИСТ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК»**

Сегодня управление производственными рисками является необходимой составляющей любой эффективной системы управления охраной труда и предусматривает прежде всего оценку влияния вредных и опасных производственных факторов на состояние здоровья работающего человека.

Изучение производственных рисков для здоровья лиц, работающих во вредных условиях труда, стало актуальной задачей охраны и медицины труда только во второй половине XX в. [2]

В Российской Федерации оценка производственных рисков осуществляется в рамках аттестации рабочих мест, проведение которой в соответствии со ст. 212 Трудового кодекса Российской Федерации, является обязанностью работодателя. По результатам оценки осуществляются мероприятия по снижению производственных рисков для работников.

Руководствуясь методикой оценки профессионального риска, исходя из алгоритма, описанного в ней, проанализируем профессиональный риск, присутствующий на рабочем месте моториста бетоносмесительной установки.

Рабочее место моториста – бетоносмесительная установка на заводе крупного панельного домостроения, предназначенная для приготовления бетонных смесей и строительных растворов. Бетоносмесительная установка представляет собой огромный круглый железный чан с вращающимися внутри перегородками. Деятельность моториста направлена на стабильную работу оборудования. В связи с этим моторист должен уметь управлять работой обслуживаемых смесительных установок, готовить раствор, загружать его и выгружать готовые смеси и растворы на транспортирующие устройства.

Согласно карте аттестации факторами, имеющими Класс условий труда (по Руководству Р 2.2.2006 - 05) выше допустимого и приводящими к дополнительному профессиональному риску, являются: АПФД, производственный шум, освещение и тяжесть труда.

В соответствии с Таблицей 1 Руководства по оценке профессионального риска установим индексы профзаболеваний по каждому производственному фактору, присутствующему на рабочем месте и определим их категорию профессионального риска. После определим сум-

марный индекс профзаболеваний и выявим его категорию профессионального риска.

Как видно из таблицы 1, Суммарный индекс профзаболеваний 0,27-0,72 соответствует очень высокому (непереносимому) риску, требующему немедленного снижения.

Оценим воздействие факторов, исходя из информации, полученной при специальной оценке условий труда, и предложим мероприятия по снижению негативного воздействия, а, следовательно, уменьшению профессионального риска.

**АПФД.** Производственная пыль является наиболее распространенным вредным фактором производственной среды. Вся промышленность строительных материалов связана с процессами дробления, помола, смешения и транспортировки пылевидного сырья и продукта (цемент, кирпич, шамот и др.). Для уменьшения концентрации АПФД в воздухе рабочей зоны можно осуществить некоторые преобразования конструкции конвейера, по которому поступают материалы, и чана, в который они поступают, а именно сделать закрытые конструкции с вытяжной вентиляцией и вентиляционными отсосами. (Также можно предоставить рабочим возможность дистанционного управления посредством сооружения специального технического помещения.)

**Таблица 1. Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики**

| Наименование производственного фактора  | Класс условий труда по Руководству Р 2.2.2006 - 05      | Индекс профзаболеваний Ипз | Категория профессионального риска     |
|---|---|----------------------------|---------------------------------------|
| Травмобезопасность (бетоносмеситель)    | 2   | < 0,05                     | Пренебрежимо малый (переносимый) риск |
| Физический фактор                       | 2   | < 0,05                     | Пренебрежимо малый (переносимый) риск |
| АПФД                                    | 3.1   | 0,05-0,11                  | Малый (умеренный) риск                |
| Шум                                     | 3.2   | 0,12-0,24                  | Средний (существенный) риск           |
| Микроклимат                             | 2   | < 0,05                     | Пренебрежимо малый (переносимый) риск |
| Освещение                               | 3.1   | 0,05-0,11                  | Малый (умеренный) риск                |
| Тяжесть                                 | 3.1   | 0,05-0,11                  | Малый (умеренный) риск                |
| Суммарный индекс профзаболеваний Ипз    | 0,27-0,72   |                            | Очень высокий (непереносимый) риск    |
| Срочность мероприятий по снижению риска | Работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска |                            |                                       |

**Освещенность.**

В результате анализа показателей освещенности были выявлены основные направления деятельности по уменьшению негативного воздействия и профессионального риска.

Для этого необходимо:

- увеличить КЕО (помыть окна);
- увеличить освещенность от системы общего освещения:
  - 1) применение большего количества осветительных приборов;
  - 2) использование осветительных приборов большей мощности;
  - 3) использование более рациональных схем размещения осветительных приборов;
  - 4) использование более светлой окраски для стен и потолка рабочего помещения;
  - 5) осуществление периодической очистки светильников;
- уменьшить коэффициент пульсации (каждую 1/3 ламп подключить на свою фазу 3хфазной цепи).

### **Шум.**

Осуществить защиту от производственного шума и уменьшить профессиональный риск можно следующим образом:

- 1) понизить уровень шума в источнике:
  - смазка трущихся и взаимодействующих деталей механизмов (где это допустимо);
  - замена изношенных деталей оборудования, которые могут вызывать шум;
  - замена металлических деталей на пластиковые;
  - уменьшение зазоров между сопряженными деталями;
  - применение в конструкциях оборудования звукопоглощающих материалов;
- 2) изменить направление излучения шума;
- 3) осуществить акустическую обработку помещения и обшивку его звукопоглощающими и звукоизолирующими материалами;
- 4) уменьшить шум на пути его распространения путем установки звукоизолирующих перегородок, корпусов, экранов.

Также можно предоставить рабочим возможность дистанционного управления посредством сооружения специального технического помещения со звукоизоляцией.

### **Тяжесть.**

Для уменьшения тяжести труда работник должен не менее 50% смены находиться в позе сидя. Чтобы в фазе приготовления смеси работник мог сидеть, ему необходимо выдать соответствующее оборудо-

вание, либо можно предоставить работнику специальное помещение для наблюдения за процессом приготовления смеси.

Подводя итоги, можно сказать, что первостепенными действиями должны быть немедленное проведение медосмотра, устранение нареканий по факторам освещения и АПФД.

А также повторный анализ и оценка профессионального риска, по результатам которой должны быть установлены социально-экономические льготы и компенсации работнику, и тем самым осуществить управление профессиональным риском.

#### Библиографический список

1. **Елин А.М.**, «Безопасность и охрана труда» №2, 2007, О некоторых вопросах оценки профессиональных рисков на производстве.
2. **Крюков Н.П.**, справочник специалиста по охране труда №8, 2010, Обеспечение безопасности труда.
3. **Руководство** по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки.

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

## ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ФОРМОВЩИКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

«Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены...» (статья 37 Конституции Российской Федерации).[1]

Определение факторов профессионального риска, исследование их безопасных (и опасных) уровней воздействия на работающих, мониторинг здоровья и безопасности на рабочих местах, организация работы по изучению несчастных случаев и профессиональных заболеваний и ряд других вопросов входит в круг задач по оценке и управлению профессиональными рисками. Согласно ГОСТ Р 54934 – 2012/OHSAS 18001:2007 п. 3.21 риск (risk): Сочетание вероятности того, что опасное событие произойдет или воздействие(ия) будет(ут) иметь место, и тяжести травмы или ухудшения состояния здоровья, которые могут быть вызваны этим событием или воздействием(ями).

Анализ риска состоит из оценки риска, управления риском информации о риске. Управление риском означает принятие решений и действия, направленные на обеспечение безопасности и здоровья работников.

Исходными данными для оценки профессионального риска является аттестация рабочего места формовщика железобетонных изделий и конструкций. Формовщик - это рабочий промышленного предприятия, который обеспечивает производственный процесс по изготовлению изделий и конструкций из железобетона на специальном оборудовании.

В соответствии с руководством по оценке профессионального риска для здоровья работников при выборе комплекса мер профилактики (управление риском) в соответствии с рекомендациями МОТ следует руководствоваться следующими приоритетами:

- 1) устранение опасного фактора или риска;
- 2) борьба с опасным фактором или риском в источнике;
- 3) снижение уровня опасного фактора или внедрение безопасных систем работы;
- 4) при сохранении остаточного риска использование средств индивидуальной защиты.

**Таблица 1. Окончательная оценка рабочего места по степени вредности и опасности**

| Фактор               | Классы условий труда      |                    |                   |     |     |     |         |
|----------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|-----|-----|-----|---------|
|                      | 1 класс оптимальный       | 2 класс допустимый | 3 класс – вредный |     |     |     | 4 класс |
|                      |                           |                    | 3.1               | 3.2 | 3.3 | 3.4 |         |
| Шум                  |                           |                    |                   | +   |     |     |         |
| Освещение            |                           |                    | +                 |     |     |     |         |
| Микроклимат          |                           | +                  |                   |     |     |     |         |
| Общая вибрация       |                           | +                  |                   |     |     |     |         |
| Локальная вибрация   |                           | +                  |                   |     |     |     |         |
| Инфразвук            |                           |                    | +                 |     |     |     |         |
| Окончательная оценка | Класс условий труда – 3.2 |                    |                   |     |     |     |         |

Исходя из данных аттестации рабочего места наибольшую опасность представляют такие факторы, как шум, освещение, инфразвук. Также производство сопровождается выделением большого количества пыли, концентрация АПФД в воздухе выше нормы, что может привести к различным профзаболеваниям.

Оценка риска производилась по приложению 1 «Показатели и критерии оценки профессионального риска» Руководства по оценке профессионального риска для здоровья работников.

**Таблица 2. Классы условий труда, категории профессионального риска и срочность мер профилактики**



| Класс условий труда по руководству Р 2.2.755-99                  | Индекс профзаболеваний $I_{пз}$ | Категория профессионального риска     | Срочность мероприятий по снижению риска                                |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| Допустимый – 2 (микроклимат, общая вибрация, локальная вибрация) | < 0,05                          | Пренебрежимо малый (переносимый) риск | Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите* |
| Вредный - 3.1 (освещение, инфразвук)                             | 0,05 - 0,11                     | Малый (умеренный) риск                | Требуются меры по снижению риска                                       |
| Вредный - 3.2 (шум)  | 0,12 - 0,24                     | Средний (существенный) риск           | Требуются меры по снижению риска в установленные сроки                 |
| Суммарный индекс профзаболеваний                                 | 0,22 - 0,61                     | Высокий (непереносимый) риск          | Требуются неотложные меры по снижению риска                            |

Меры по снижению риска.

Для уменьшения шума на рабочем месте для рабочего персонала необходимо создать специальное помещение, в котором будет находиться пульт управления установками. Уровень звука в помещении рассчитан так, чтобы эквивалентный уровень звука был допустимым.

Для увеличения освещенности до допустимого уровня необходимо назначить ответственного за состоянием светильников. Чистка светильников с определенной периодичностью позволит существенно увеличить освещенность на рабочем месте.

Для уменьшения пульсации следует каждую треть ламп включить на свою фазу трехфазной сети.

Для увеличения КЕО следует регулярно чистить световые проемы на рабочем месте.

Для уменьшения среднесменной концентрации АПФД в воздухе рабочей зоны необходимо оборудовать специальное помещение для персонала вытяжной вентиляцией.

Данные меры являются неотложными и должны быть реализованы в кратчайшие сроки.

#### Библиографический список:

1. ГОСТ Р 54934 – 2012/OHSAS18001:2007 СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ
2. **Руководство** по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки.

**С.И. Романишин Д.А. Степанов, студенты;  
рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)**

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТРЕНАЖЕРА «Ambu Man» В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Методические указания определяют объем и последовательность действий при выполнении лабораторных работ «Изучение методов сердечно-легочно-мозговой реанимации с применением тренажера «Ambu Man», что способствует более качественному усвоению материала по курсу «МБО БЖД».

Указания содержат основные теоретические и практические сведения для приобретения навыков выполнения первой реанимационной помощи, помогут студентам быстро освоить работу с тренажером. Так же методические указания позволяют проводить быструю и качественную оценку знаний в данной области. Изучение методов реанимации происходит с использованием тренажера «Ambu Man», который позволяет показать обучающимся полную физиологическую картину современных реанимационных методов.

Изучение методов оказания первой медицинской помощи пострадавшему, является важным аспектом обучения специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности и охраны труда. Как в обычной жизни, так и на каком – либо производстве, порой происходят происшествия, влекущие за собой самые различные экстремальные ситуации, при которых оказание первой медицинской помощи играет важную роль сохранности человеческой жизни.

Целью данных лабораторных работ является изучение методов правильного выполнения сердечно – легочно – мозговой реанимации (НМС – непрямой массаж сердца и ИВЛ – искусственная вентиляция легких) и приобретение навыков по оказанию реанимационной помощи пострадавшим, у которых произошла остановка сердца или дыхания.

### **Библиографический список**

1. **Инструкция** по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве: – М.: Изд-во ГАЛО БУБНОВ, 2007. – 112 с.
2. **Межотраслевая** инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2008. – 80 с.
3. **А.В. Крюкова по редакции Г.В. Попова** «Изучение методов сердечно-легочно-мозговой реанимации с применением тренажера «ВИТИМ-2»

*А.Е. Белозёрова, Э.С. Манучарян, студенты;  
рук. Ю.Ю. Рогожников, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ИТЕРНЕТ ПОРТАЛА ПО ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Техногенная безопасность – совокупность свойств технических средств противостоять совместному воздействию всех факторов, приводящих к ухудшению состояния здоровья, травмам или гибели персонала, а также вредному воздействию на природную среду. Угрозы техногенной безопасности создаются на всех стадиях жизненного цикла технических систем: при проектировании (когда в проекте необоснованно используются потенциально опасные рабочие процессы, материалы и технологии); при изготовлении технических систем и их компонентов (когда не соблюдаются нормативные требования по технологическим операциям, входному и выходному контролю материалов и готовых изделий, компонентов); при эксплуатации (когда не соблюдаются нормы и правила безопасности, не осуществляется контроль технического состояния, модернизации и ремонта технических систем).

Разработка информационного интернет портал по техногенной безопасности позволит предоставить студентам и специалистам единый доступ к информации, позволяющей получить знания направленные на снижение рисков возникновения аварийных ситуаций, уменьшение вероятности получения травм и профессиональных заболеваний, обеспечение правильного выбора и применения средств индивидуальной защиты, организацию работы с нормативными документами по техногенной безопасности и др.

Информация, сосредоточенная в основных разделах, соответствует первичному назначению портала и посвящена обеспечению техногенной безопасности на различных этапах жизненного цикла технических систем. Кроме этого, на страницах портала представлена информация по радиационной безопасности, экологии, промышленной безопасности, охране труда, гражданской обороне и безопасности в чрезвычайных ситуациях, ГОСТы, гигиенические нормы, правила безопасности, санитарные правила и нормы и др. Большинство категорий основано на единой базе данных, что позволяет организовать между ними множественные перекрестные ссылки.

Для разработки интернет портала была выбрана система Drupal, которая позволяет строить сайты различного назначения и управлять их содержимым без знаний языков программирования.

*Д.Н. Золотаева, студ.; рук. И.Г. Мельцаев, д.с.-х.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ — УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА**

В числе факторов, способствующих сохранению и укреплению здоровья, особая роль отводится питанию в силу его глубинного воздействия на все биохимические и физиологические процессы деятельности организма. Многолетние нарушения режима питания неизбежно приводят к патологическим изменениям жизненно важных функций организма. Правильно организованное питание – ключ к здоровью и хорошему самочувствию, без которого человеку трудно достигнуть максимальной работоспособности. Можно сказать, что стратегия человеческого бытия начинается с вопросов питания. И когда человек приходит к сознательному, а не случайному питанию, его жизнь существенно меняется. Американские психиатры Е. Чераскин и У. Рингсдорф в своей книге «Психодиетика. Питание как ключ к эмоциональному здоровью» пишут: «Если нам удастся убедить многих людей питать клетки мозга здоровой пищей, минеральными солями, витаминами, аминокислотами, это поможет людям держать себя в рабочей форме, то мы сделаем для победы над психическими заболеваниями больше, чем, если бы мы открыли еще одно лекарство». Существует ряд мнений по вопросам правильного питания. Но, несомненно одно: организм представляет из себя то, что он переваривает. Половина болезней возникает от неправильного питания. Народная мудрость гласит: «все болезни приходят через рот – следи за своим ртом».

Основной недостаток нашего питания – избыточная высококалорийная пища, то есть переедание. Особенно это касается сахаров и жиров. Переедание ведет к ожирению. Ожирение – серьезное заболевание, вызванное глубокими нарушениями обменных процессов в организме. Кроме того, оно создает постоянную повышенную нагрузку на деятельность сердца. Выявлена закономерность – чем больше избыточная масса тела, тем короче жизнь человека (ожирение укорачивает жизнь человека в среднем на 10–12 лет). Статистика свидетельствует о том, что у лиц с избыточной массой тела по сравнению с худощавыми людьми в 6 раз чаще появляются камни в почках, в 4 раза чаще – камни в желчном пузыре и атеросклероз, приводящий к инфаркту миокарда, в 3 раза чаще развивается сахарный диабет. Переедание – свиде-

тельство отсутствия элементарных знаний о питании, слабой воли и низкой культуры человека. Оно лишает трудоспособности и усугубляет болезни.

Следующий большой недостаток в питании – отсутствие в наборе продуктов сырых овощей, фруктов, орехов и соков. У многих людей пища состоит в основном из хлеба, вареного и жареного мяса или картофеля, колбас, копченостей, сладких и сдобных мучных изделий, молочных продуктов. При таком питании организму не хватает витаминов, минеральных солей и микроэлементов, ферментов – необходимых для рационального переваривания пищи.

Рациональное питание подразумевает оптимальное (по качеству и количеству) введение в организм компонентов пищи в соответствии с его потребностями. Оно предусматривает соблюдение определенного соотношения компонентов пищи в рационе. При изменении оптимального соотношения, например, аминокислот, ухудшается усвоение белков, что влечет за собой болезненное состояние организма. Питание – это совокупность процессов, включающих поступление в организм, переваривание, всасывание и усвоение им питательных веществ, то есть составная часть обмена веществ. С этих позиций экологию питания можно рассматривать как анализ экосистем с точки зрения происходящего в них обмена веществом и энергией.

Питание удовлетворяет одну из важнейших физиологических потребностей человеческого организма, обеспечивая его формирование – функционирование и устойчивость к неблагоприятным воздействиям внешней среды. Достаточное в количественном и качественном отношении питание оценивается как рациональное или сбалансированное. Рациональное питание должно обеспечивать оптимальное течение всех физиологических функций в организме, рост и физическое развитие, работоспособность и здоровье человека в соответствии с возрастом, полом, характером труда, климатическими и другими условиями. Питание не только оказывает влияние на онтогенез, но и, действуя на протяжении многих поколений, определяет направление филогенетического развития человека. В соответствии с полученными научными данными, которые подтверждены экспериментами, никакой продукт из состава основных компонентов питания: белки, жиры и углеводы – не будет переработан в органическую энергию, если в этот процесс не будут включены витамины. Например, чтобы получить жизненную энергию в 1000 ккал требуется ввести 25 мг витамина С; 8 мг витамина Е; 6,6 мг – РР; 0,6 – В<sub>1</sub>; 0,7 – В<sub>2</sub>; 1 мг – В<sub>6</sub>, иными словами, для этого процесса требуются более 20 различных витаминов.

Следовательно, система рационального питания должно базироваться на определенных принципах.

Ежедневное потребление калорий должно быть распределено между компонентами питания в пропорции 50:20:30, где на долю углеводов приходится 50% калорий, белков – 20, жиров – 30%. Это соотношение должно стать фундаментальным принципом для достижения необходимой гармонии в человеческом организме.

Углеводы заряжают нас энергией в наибольшей степени, кроме того, содержат много минеральных веществ и витаминов, важных для здоровья, волокон, способствующих хорошему пищеварению. Большинство углеводов содержат много воды. Вода – главное условие обмена веществ. Сочетание воды и волокон создает такой объем пищи, который дает ощущение сытости, не допуская переедания. При этом количество калорий относительно невысокое. Так, например, в небольшом апельсине или яблоке содержится только 45 ккал, а в клубне картофеля среднего размера или не большом кусочке хлеба – 70 ккал. Углеводы содержатся в основном в таких продуктах питания, как свежие фрукты, овощи, соки, бобы, горох, чечевица, картофель, кукуруза, хлеб грубого помола, овсяная каша, рис, блюда из отрубей зерновых колосовых культур [1].

Избыточное потребление углеводов (свыше 50%), особенно легкоусвояемых (сахар, мед, варенье, кондитерские изделия), способствует развитию атеросклероза и связанных с ним поражений сердца и мозга, а также желчекаменной болезни и ожирения. Неумеренное потребление углеводов способствует разрушению зубов, истощению функции поджелудочной железы и возникновению сахарного диабета. При трехразовом приеме пищи в течение дня необходимо придерживаться правила: 25:50:25, где 25% калорий ежедневного рациона приходится на завтрак, 50 – на обед и 25 % – на ужин. Такое соотношение потребления калорий в течение дня позволит успешно разрешить проблему с лишним весом и не иметь ее впредь. Статистикой установлена связь между избыточной массой тела и увеличением смертности. Это подтверждается следующими результатами исследований: при избыточной массе тела на 4–5 кг вероятная смертность увеличивается – на 8 %, 9 кг – на 18 %, 13,5 кг – на 28 %, 22,7 кг – на 56 % [2].

При излишке жировых отложений необходимо осуществлять индивидуальный план рационального питания. Основные пункты данного плана питания человека следующие. 1. Необходимо, чтобы питание было разнообразным и сбалансированным по основным компонентам пищи. 2. Нужно определить разницу между идеальным и фактическим весом. Излишек массы «сжигать» за счет уменьшения потребления

количества калорий и увеличения их расхода. Снижение веса на 0,5–1,0 кг в неделю – это оптимальный вариант похудения. Надо знать, что для потери 1 кг веса (1 кг жира эквивалентен 7000 ккал) в неделю необходимо ежедневно отказываться от приема 1000 ккал энергии с пищей. Исследовательским центром аэробики (США) определено, что для мужчины со средней шириной костей и жировой массой, составляющей 15–19 % от массы тела и для женщины среднего телосложения с жировой массой, составляющей 18–22 %. Исследования показали, что именно эти соотношения жировой массы позволяют организму гармонично развиваться и достичь хорошего уровня здоровья. В пищу необходимо использовать низкокалорийные приправы, ограничивать потребление готовых приправ, вместо сливок пить низкокалорийное молоко, есть обезжиренные сыры. Следует иметь в виду, что каждый грамм съеданного жира содержит калорий вдвое больше по сравнению с белками или углеводами (например, 1 г жира – 9 ккал, 1 г белков или углеводов – 4 ккал). Основное правило, которого неукоснительно должен придерживаться человек – количество получаемых с пищей калорий не должно превышать количество, «сжигаемого» в повседневной деятельности жиров.

**Библиографический список:**

1. **Электронный источник:** [zdravplus.ru/ru/statiy/microelement...](http://zdravplus.ru/ru/statiy/microelement...) копия
2. **Флягин, Б.М.** Самоменеджмент руководителя / Б.М. Флягин. Пермь, 1998. 133 с.

*М.В. Горшкова, студ.; рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ г. Иваново)*

## **ПРИЧИНЫ РАЗВИТИЯ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЙ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

В настоящее время в Ивановской области отмечается увеличение онкозаболеваемости населения с 425 до 440 случаев на 100 000 населения области (средние российские показатели - 352 случая). По нашему мнению существует целый ряд причин, влияющих на это: факторы внешней среды (облучение изотопами радона 222, солнечная активность и др.), проведение ядерного взрыва в Ивановской области («Глобус-1»), биологическая предрасположенность, неправильный образ жизни.

Максимальным фактором внутреннего радиационного воздействия на население по-прежнему является облучение изотопами радона 222, а главным фактором наружного воздействия - облучение при медицин-

ских процедурах. Вклад изотопов радона составляет до 62% от общей дозы облучения и приводит к возникновению стохастических эффектов – злокачественных заболеваний, например, рака кожи, рака легких которые вот уже десять лет занимают первые места среди других видов онкозаболеваний. По локализации на 1 месте – рак кожи и меланома (в этом также и роль соляриев), на 2 месте – рак молочной железы, на третьем - рак легкого.

Анализируя данные измерений концентрации радона в помещениях жилых, производственных и общественных зданий, необходимо отметить, что ситуация, складывающаяся в настоящий момент, является неблагоприятной, так как более 10% исследований не отвечают гигиеническим критериям.

Начиная с 1993 года, только 0,8% превышали предельно-допустимые уровни ЭРОА изотопов радона (100 Бк/м<sup>3</sup> в воздухе помещений для строящихся зданий и 200 Бк/м<sup>3</sup> - для существующих). Это, объясняется тем, что обновилась инструментально-исследовательская база, расширив круг обследований и проводя более точные измерения.

Проведение мониторинга радона является одним из основных направлений в деле обеспечения радиационной безопасности населения области. Однако, специалисты по радиационной гигиене не могут дать гигиеническую оценку жилого фонда микрорайонов "Московский" или "Новая Ильинка", так как радиологические исследования проводил "специалист" ООО "ЭМИ", по мнению эксперта, вводя в заблуждение заказчика, и выдавая фальсифицированные данные. На стадии землеотвода в данных микрорайонах обнаружены радоновые изломы, участки относились к 2 и 3 классу радоноопасности, где необходимо при строительстве обязательное выполнение радонозащитных мероприятий. Например, в доме № 15 микрорайона "Московский" на 1 этаже выявлено превышение ПДУ по содержанию в воздухе изотопов радона в 1,5-2,2 раза. Такой, прецедент был с ОАО "Техгарант" ул. Революционная, д. 34. В данных микрорайонах живут тысячи людей, преимущественно молодых семей с малыми детьми, и какие отдаленные последствия для их здоровья будут у жителей, никто не задумывается.

Помимо этого, на территории Ивановской области находится объект «Глобус – 1» (далее ГБ-1), образовавшийся в результате проведения в 1971 г. ядерного взрыва в мирных целях. Этот камуфлетный ядерный взрыв был осуществлен в 4,5 км от д. Галкино на левом берегу реки Шачи Кинешемского района Ивановской области по програм-



ме Министерства геологии СССР. Взрыв сопровождался аварийным выходом радиоактивных продуктов (цезий-137 и стронций-90).

Причиной этой аварии явилось некачественное цементирование затрубного пространства зарядной скважины. Для изучения причин аварии и последствий воздействия взрыва на недра в 1976 г. в зоне взрыва были пробурены 2 исследовательские скважины. До бурения на территории объекта «Глобус-1» были вырыты 3 траншеи, куда собиралась буровая жидкость и откачиваемая вода, загрязненная радионуклидами (цезий-137 и стронций-90). По завершении исследований траншеи и вся загрязненная территория площадки были засыпаны чистым грунтом.

Аварийный объект «Глобус-1» представляет собой сложный геотехнический комплекс, состоящий из центральной зоны взрыва (столба обрушения, зоны дробления трещиноватости пород), которая через технологическую и две исследовательских скважины может иметь связь с залегающими породами и поверхностным грунтом.

Поверхностный слой грунта на площади около 0,5 га и на глубину от 10 до 300 см загрязнен радионуклидами при аварии и бурении исследовательских скважин. Суммарная активность грунта – 0,6 Ки (2,22·10<sup>10</sup> БК). Общий объем загрязненного грунта – 10 тыс. м<sup>3</sup>. Наиболее загрязненными являются грунты в "амбаре", где удельная активность составляет Cs-137 и Sr-90 соответственно 2,9 x 10<sup>4</sup> и 1,1 x 10<sup>4</sup> Бк/кг.

Радиоактивный грунт не имеет физической защиты, что позволяет неизвестным «исследователям» проводить вскрытие радиоактивных захоронений с выносом радиоактивности на земную (дневную) поверхность и дальнейшим загрязнением территории площадки. Данный факт не исключает возможность вывоза радиоактивного грунта с площадки ГБ-1 и совершение незаконных актов в отношении населения и окружающей среды Ивановской области.

В 2004 году проведены работы по строительству обводного канала и укреплению берегов реки Шачи. Остался последний этап – изоляция площадки ГБ-1. Однако из-за отсутствия финансирования с 2005 года работы прекращены, техника выведена и прошла профилактическую дезактивацию.

Рассмотренные факторы, несомненно, играют немаловажную роль в развитии онкозаболеваний среди жителей Ивановской области, однако очевидно, что не только они оказывают влияние на развитие заболеваний. Следует предположить, что помимо них существует целый ряд нераскрытых или скрываемых от населения области проблем.

#### Библиографический список:

1. Доричева О.А. Итоги радиационно-гигиенической паспортизации за 15 лет.
2. Электронный ресурс: <http://ookod.ru/index.php/sanbilyuten/125-profilaktika-onkozabolevanij-reproduktivnyh-organov>.

*Н.В. Грошева, студ.; рук. А.Г. Горбунов, к.т.н., доц.;*  
*А.К. Соколов, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСОВ В УЧЕБНЫХ КУРСАХ**

Нормативы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятий для объектов природопользования устанавливаются для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника и совокупности источников города не создадут приземную концентрацию загрязняющих веществ, превышающую предельно-допустимые значения в воздухе населенных мест.

В настоящее время все расчеты загрязнения атмосферы проводятся только с использованием специальных программных средств - унифицированных программ расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА), которые являются приложением к ОНД-86.

Причины, по которым выполнение расчетов загрязнения атмосферы без использования программных средств невозможно, таковы.

- 1) Сложность расчетных схем, заложенных в методику ОНД-86.
- 2) Методика ОНД-86 не содержит формального описания алгоритма расчета загрязнения воздуха. Ряд разделов методики связан с использованием приближенных методов вычислений. Именно поэтому в России в настоящее время имеется несколько действующих программ расчета загрязнения атмосферы, которые реализуют расчетные формулы ОНД-86, но основаны на использовании различных алгоритмов.

В настоящее время в России и странах СНГ предприятиями-природопользователями и другими организациями используется около 4000 экземпляров действующих УПРЗА. Наиболее распространенной является УПРЗА "Эколог", применяются также программы «Эколог ПРО», «Призма», «Атмосфера», «ЛиДа» [1]. Это платные программы, в широком доступе их нет, например, базовый вариант программы «Эколог» стоит 20400р., а программа «Призма» - 8000р.

Рассмотрим две программы, которыми располагает кафедра БЖД ИГЭУ для расчета приземной концентрации золы, содержащейся в выбросах предприятия – «vibros52» и «Расчет рассеивания».

Сравнение эти программ выполнено по нескольким критериям:

- 1) подготовка исходных данных: какие именно исходные данные запрашиваются, сколько, есть ли рекомендации по их подготовке;
- 2) порядок работы с программой: есть ли инструкция по пользованию программой, насколько просто и понятно ею пользоваться;
- 3) выдача результатов: какие результаты выдаются, строятся ли автоматически графики, в каком виде выдаются результаты, возможно ли быстро извлечь их для дальнейшего использования;
- 4) установка программы: поддерживается ли той операционной системой, которая используется, легко ли устанавливается, нужны ли дополнительные условия и программы для ее использования.

Исходные данные, которые обычно используются программами, приведены в табл.1.

Для анализа возможностей компьютерных программ использовался метод экспертных оценок.

По результатам анализа опытного использования программ определили следующее.

**Таблица 1. Исходные данные программ**

| Наименование                                       | Обозначение    |
|--|----------------|
| Коэффициент температурной стратификации            | A              |
| Средняя скорость выхода газов из устья источника   | w <sub>0</sub> |
| Расход выбрасываемых продуктов сгорания            | V <sub>г</sub> |
| Высота трубы                                       | H              |
| Диаметр устья трубы                                | D              |
| Температура продуктов сгорания                     | T <sub>г</sub> |
| Температура окружающего воздуха                    | T <sub>в</sub> |
| Фоновая концентрация золы                          | C <sub>ф</sub> |
| Коэффициент, учитывающий скорость оседания золы    | F              |
| Масса золы, выбрасываемой в атмосферу              | M              |
| Предельно допустимая концентрация золы             | ПДК            |
| Коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности | η              |

**Программа vibros52** не поддерживается ОС Windows 7 напрямую, для того, чтобы она работала, необходимо дополнительно установить программу DOSBox, что создает дополнительные сложности. Графика в программе примитивная, что, однако, почти не создает неудобств при использовании.

Для программы требовались следующие исходные данные: A, H, D, w<sub>0</sub>, T<sub>г</sub>, T<sub>в</sub>, C<sub>ф</sub>, M, ПДК. Все они обычно известны из технического задания, дополнительно считать ничего не нужно. Инструкции по использованию программы есть [2], но она и не требуется, так как в процессе

диалога расчета указываются все необходимые действия, которые нужно совершить. Пользоваться программой просто и удобно.

В результате расчета выдаются:

- 1) величина максимальной приземной концентрации вещества; значение расстояния, на котором наблюдается эта концентрация; значение опасной скорости ветра; значения вспомогательных коэффициентов, необходимых для расчета;
- 2) величины приземной концентрации вредного вещества в атмосфере на различных расстояниях от источников выбросов (с графиком по оси абсцисс); координаты линий постоянного уровня концентраций (без графика);
- 3) выводы по результатам расчета концентрации;
- 4) значение предельно допустимого выброса в атмосферу с учетом фоновой концентрации, при котором обеспечивается не превышение ПДК;
- 5) значение минимальной высоты трубы, при которой обеспечивается экологическая безопасность  $c_m + c_\phi = \text{ПДК}$ .

Все результаты, кроме графика, записываются в файл с расширением \*.txt.

**Программа «Расчет рассеивания»** поддерживается ОС

Windows 7, затруднений в ходе ее установки не возникает.

Инструкции по пользованию программой нет, но разобраться в ней несложно.

В программе запрашиваются следующие исходные данные: ПДК, F, A,  $\eta$ ,  $T_v$ ,  $U_m$  (опасная скорость ветра), D, M, H,  $V_r$ . Из всех параметров не дана опасная скорость ветра, нужно ее рассчитывать дополнительно, при этом формулы для расчета не приводятся. Есть возможность расчета для нескольких труб одновременно (тогда еще требуется расстояние между устьями труб).

В результате расчета выдаются:

- 1) максимальное значение приземных концентраций; расстояние до точки с максимальной приземной концентрацией;
- 2) распределение концентраций по оси факела (с графиком);
- 3) поля равных концентраций (таблицы со значениями и график).

Значения ПВД в этой программе не рассчитываются. Есть возможность форматирования графиков.

Результаты можно записать в файл с расширением \*.dat или \*.atm. Есть возможность распечатать результаты напрямую из программы. Графики можно отдельно сохранить в файлы с расширением \*.bmp, \*.emf, \*.wmf.

В целом, программой пользоваться удобно и приятно.

Для анализа программ на возможность расчета тех или иных параметров и сравнения их значений составлена таблица, вычислены погрешности расчета параметров ( $\delta_{1-2} = |c_{m1} - c_{m2}| / \max(c_{m1}; c_{m2})$ ).

Чтобы сравнить программы по простоте, удобству пользования и эстетической стороне, оценили показатели по пятибалльной шкале, ввели коэффициент значимости показателей  $K_3$  и вычислили сумму по формуле  $\Sigma W = \Sigma(K_3 O)$ , где  $O$  – оценка по пятибалльной шкале. При расчете концентрации  $c_m$  и расстояния  $x_m$  в обеих программах расхождений в результатах нет. Дополнительно в «vibros52» считаются опасная скорость ветра, ПДВ, минимальная высота трубы, а в «Расчет рассеивания» автоматически строятся графики линий постоянного уровня и изменения концентрации.

Отсюда следует, что для более продуктивной работы следует пользоваться одновременно обеими программами. Если в качестве основного критерия выбора рассматривать эстетичность, простоту и удобство пользования программой, то лучше выбрать программу «Расчет рассеивания».

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс <http://www.integral.ru/program.html>
2. Соколов А.К. Экологическая экспертиза проектов: Учеб. пособие. – Иваново: ИГЭУ, 2005 – 108 с.

*А.С. Борисова, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### **ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУСЛА РЕКИ**

Разбавления сточных вод в проточных водоемах зависит от процесса турбулентной диффузии в русле реки, который характеризуется коэффициентами: Шези,  $c_{ш}$ , турбулентной диффузии,  $D_m$ , а также функцией коэффициента Шези  $M_{ш}$  и коэффициентом, определяющим гидравлические условия смешения,  $k$ .

Коэффициент Шези при зависит от коэффициента шероховатости  $\gamma$  и определяется по формуле Базена:

$$c_{ш} = \frac{87}{1 + \gamma/R}.$$

Величина коэффициента шероховатости русла  $\gamma$  естественных водотоков (по М.П. Скрибному) определяется многими факторами.

Для оценки влияния особенностей русла рек на процесс турбулентной диффузии рассмотрены девять типов рек, с характеристики русла, приведенными в табл. 1.

Функция коэффициента Шези рассчитывается по формулам:

$$M_{ш} = 0,7 \cdot c_{ш} + 6 \text{ при } 10 < c_{ш} < 60;$$

$$M_{ш} = 48, \text{ при } c_{ш} \geq 60.$$

Коэффициент и функция Шези определяют значение коэффициента турбулентной диффузии,  $D_T$ , который вычисляется по формуле Караушева:

$$D_T = \frac{g \times H_p \times w_x}{M_{ш} \times c_{ш}},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ),

$w_x$  – средняя по сечению русла скорость течения реки на удалении  $L$  от места выпуска сточных вод, м/с,

$H_p$  – средняя глубина русла, м.

Величины  $M_{ш}$ ,  $c_{ш}$  и  $D_T$  влияют на коэффициент, характеризующий гидравлические условия смешения

$$k = \varphi \cdot \psi \cdot \sqrt[3]{\frac{D_T}{V_{св}}},$$

где  $V_{св}$  – объемный расход сточных вод;

$\psi$  – коэффициент, характеризующий условия сброса;

$\varphi$  – коэффициент извилистости русла.

От коэффициента  $k$  зависит кратность разбавления  $n_p$  сточных вод условно чистой водой реки и, соответственно, концентрация консервативного вещества в максимально загрязненной части струи после перемешивания, которая определяется по формуле:

$$c = c_{\phi} + (c_0 - c_{\phi}) / n_p,$$

где  $c_{\phi}$  – концентрация загрязняющего вещества до выпуска сточных вод (фоновая);

$c_0$  – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, мг/л.

**Таблица 1. Коэффициентах шероховатости  $\gamma$  для различных типов рек**

| № | Описание русла реки   | $\gamma$ |
|---|---|----------|
| 1 | Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)   | 1,25.    |
| 2 | Русла постоянных водотоков равнинного типа (преимущественно больших и средних рек) в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды             | 2,00.    |
| 3 | Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с незначительными искажениями в направлении струй или прямые | 2,75.    |
| 4 | Русла больших и средних рек, значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые, с беспокойным течением                               | 3,75.    |
| 5 | Русла периодических водотоков, сильно заросшие и извилистые   | 5,50.    |
| 6 | Реки и поймы, весьма сильно заросшие, со слабым течением и с большими глубокими промоинами  | 7,0.     |
| 7 | Поймы, весьма сильно заросшие, но с сильным косоструйным течением, заводьями и др.  | 9,0.     |
| 8 | Реки болотного типа с зарослями, кочками, многочисленными застойными зонами. Поймы с большими пространствами и местными углублениями-озерами          | 12,0.    |
| 9 | Потоки, подобные селевым, состоящие из грязи, камней и др. Глухие поймы таежного типа   | 20,0.    |

Расчеты концентраций консервативного вещества в максимально загрязненной части струи ( $c$ ) выполнены для девяти типов рек (табл. 1) с одинаковыми объемными расходами вод  $V_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{с}$ . Исходные данные приведены в табл. 2.

Для расчета принято: средняя по сечению русла скорость течения реки  $w_x = 0,385 \text{ м/с}$ , гидравлический радиус  $R = H_p = 3,9 \text{ м}$ .

В табл. 3 приведены величины, характеризующие условия разбавления сточных вод.

**Таблица 2. Характеристики сточных вод и реки**

| Обозначение | $C_{\text{ф}}, \text{мг/л}$ | $C_0, \text{мг/л}$ | $V_{\text{св}}, \text{м}^3/\text{с}$ | $V_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{с}$ | $\psi$ | $H_p, \text{м}$ | $\varphi$ |
|-------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------------|-----------|
| Значение    | 0,05                        | 26                 | 0,26                                 | 78                                  | 1,5    | 3,9             | 1,21      |

Величины концентраций консервативного вещества в максимально загрязненной части струи  $c$  на расстояниях 250 и 500 м от места сброса сточных вод показаны на рис. 1.

**Таблица 3. Характеристики процесса разбавления сточных вод для девяти типов рек**

| № русла в табл. 1 | $\gamma$ | $c_{\text{ш}}, \text{м}^{0,5}/\text{с}$ | $M_{\text{ш}}, \text{м}^{0,5}/\text{с}$ | $D_{\text{T}}$ | $k$  | $C, \text{мг/л}, 250 \text{ м}$ | $C, \text{мг/л}, 500 \text{ м}$ |
|-------------------|----------|---|---|----------------|------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1                 | 1,25     | 65,9                                    | 48                                      | 0,0046         | 0,47 | 1,47                            | 0,138                           |
| 2                 | 2,00     | 57,6                                    | 46,3                                    | 0,0055         | 0,50 | 1,24                            | 0,138                           |
| 3                 | 2,75     | 53,1                                    | 43,2                                    | 0,0064         | 0,53 | 1,05                            | 0,138                           |
| 4                 | 3,75     | 44,3                                    | 37,1                                    | 0,0089         | 0,59 | 0,76                            | 0,137                           |

|   |       |      |      |       |      |      |       |
|---|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| 5 | 5,50  | 36,1 | 31,2 | 0,013 | 0,66 | 0,54 | 0,137 |
| 6 | 7,00  | 31,2 | 27,8 | 0,017 | 0,73 | 0,39 | 0,136 |
| 7 | 9,00  | 26,4 | 24,4 | 0,023 | 0,80 | 0,30 | 0,136 |
| 8 | 12,00 | 21,4 | 20,9 | 0,033 | 0,91 | 0,22 | 0,136 |
| 9 | 20,00 | 14,2 | 15,9 | 0,065 | 1,14 | 0,15 | 0,136 |



Рис. 1. Концентрации веществ в расчетных створах (250 м и 500 м) для 9 типов рек с различными шероховатостями русла

По рис.1 видно, что концентрации в створе на расстоянии 250 м различаются примерно в 10 раз (1,47 мг/л для  $\gamma=1,25$  и 0,15 мг/л для  $\gamma=20$ ). Это указывает на необходимость учета шероховатости русла рек, особенно на начальном участке смешения, так как концентрации в створе на расстоянии 500 м для принятых условий расчета практически одинаковы.

#### Библиографический список

1. Жуков А.В., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод.: Справочное пособие/ Под редакцией А.И.Жукова. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
2. Горбунов А.Г., Дьяков В.И., Ларионов В.Н. и др. Безопасность жизнедеятельности: в вопросах и ответах, задачах и решениях. ИГЭУ. – Иваново: ИГЭУ, 2000. – 404 с.
3. Соколов А.К. Экологическая экспертиза проектов: Учеб. пособие. – Иваново: ИГЭУ, 2005 – 108 с.

*Ю.С. Некрасова, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## О СПОСОБАХ СНИЖЕНИЯ ОПАСНОСТИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Основным способом утилизации ТБО на территории Ивановской области является захоронение. Инфраструктура по вторичной перера-



ботке отходов не развита. Отходы напрямую направляются на свалки и полигоны для захоронения без обработки и сортировки. В большинстве муниципальных образований области существующие полигоны ТБО исчерпали свой ресурс или оставшийся срок их действия не превышает 1–3 лет. А многие из них не отвечают современным санитарным требованиям.

Сложившаяся в Ивановской области ситуация в области обращения с отходами ведет к увеличению их объемов, размеров занимаемой ими территории, постоянному росту числа несанкционированных свалок, на которые и попадает значительное количество отходов. На ликвидацию одной такой свалки уходит около 500 млн. рублей.

Влияние необработанных бытовых отходов на среду обитания и здоровье человека схематически изображено на рис. 1.

Основным способом утилизации твердых коммунальных отходов на территории РФ является их полигонное захоронение. Преимущества такого выбора на первый взгляд очевидны – относительная простота и низкие затраты. Однако «выгоды» такой технологии только кажущиеся. Важнейшим направлением решения проблем, связанных с обращением ТБО, является строительство отходоперерабатывающих комплексов с целью вовлечения отходов в качестве вторичных ресурсов в материальное производство путем развития системы переработки ТБО [1].



Рис. 1. Влияние необработанных бытовых отходов на среду обитания и здоровье человека

Способы переработки отходов:

- депонирование (захоронение) ТБО на полигонах;
- компостирование;
- пиролиз и газификация;
- сжигание как рециклинг;
- плазменная переработка отходов.

### **1. Депонирование**

Технология переработки бытовых отходов на полигонах ТБО, куда поступает 90–95% общего потока ТБО жилого фонда, основывается на самопроизвольном разложении органической части отходов в теле полигона.

Данный способ переработки отходов должен быть запрещено, поскольку:

- не обеспечивает бактериологическую и эпидемиологическую безопасность;
- способствует распространению опасных для здоровья людей веществ на большой территории путем загрязнения воздуха, поверхностных и грунтовых вод, почвы;
- приводит к образованию диоксинов при возгорании;
- с учетом экологических рисков, стоимости земли и необходимости ее рекультивации является экономически невыгодным.

### **2. Компостирование**

Процесс биохимического преобразования содержащейся в ТБО биомассы называют компостирование. Этот способ нельзя использовать в случае присутствия в отходах тяжелых металлов.

### **3. Пиролиз и газификация**

Способ утилизации бытовых отходов по технологии пиролиза заключается в их необратимом химическом изменении под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением горючего газа (пирогаза). По степени температурного воздействия на горючую массу мусора он, как процесс, условно разделяется на низкотемпературный (до 650 °С) и высокотемпературный (650–900 °С). В случае подачи в реактор ограниченного количества воздуха и водяного пара происходит процесс газификации.

Процесс пиролиза бытовых отходов имеет несколько вариантов:

- пиролиз органической части отходов под действием температуры в отсутствие воздуха;
- пиролиз в присутствии воздуха, обеспечивающего неполное

сгорание отходов при температуре до 760 °С;

- пиролиз с использованием кислорода вместо воздуха для получения более высокой теплоты сгорания газа;
- пиролиз без разделения отходов на органическую и неорганическую фракции при температуре 850 °С и др.

Повышение температуры приводит к увеличению выхода газа и уменьшению выхода жидких и твердых продуктов.

С помощью пиролиза можно перерабатывать такие составляющие отходов как автопокрышки, пластмассы, отработанные масла, осадки сточных вод и т.п.

#### **4. Сжигание как рециклинг**

Сжигание бытового мусора является наиболее привычным и широко распространенным способом его утилизации.

Сжигание отходов дает возможность:

- провести полное обеззараживание бытовых отходов;
- уменьшить объем отходов в 10–20 раз, а массу в 3–4 раза;
- значительно сократить содержащиеся в отходах загрязняющие вещества;
- производить инертные, не способные к негативному воздействию на окружающую среду остатки отходов, которые могут экологически безопасно складироваться на полигонах, либо использоваться после дополнительной обработки;
- использовать содержащуюся в отходах энергию;
- заменить природные энергоносители, такие как нефть, природный газ или уголь и таким образом способствовать сохранению природных ресурсов.

Технология сжигания твердых бытовых отходов при температуре 850-1100 °С не требует предварительной подготовки мусора, отличается высокой надежностью и позволяет резко снизить потребность в полигонах для складирования остатков переработанных ТБО. Данная технология является экономичной и может рассматриваться как способ использования возобновляемых источников энергии.

#### **5. Плазменная переработка отходов**

Плазменная переработка за счет высокой температуры позволяет утилизировать высокотоксичные опасные отходы, в том числе медицинские.

Плазменный метод уничтожения отходов подвергает их воздействию таких высоких температур, что органическая составляющая отходов газифицируется и подвергается разделению на молекулы, а неорганическая составляющая образует стекловидный шлак.

В настоящее время, к сожалению, не существует идеального реше-

ния для устранения проблемы ТБО, которое позволило бы экономически эффективно и в максимальном объеме утилизировать вторичное сырье или энергию без образования производственных отходов, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов сточных вод.

Возможно, что технология сжигания ТБО при температуре от 850 до 1100 °С на мусоросжигательных заводах с выработкой электричества и тепла является наилучшей доступной технологией, которую следует рекомендовать для широкого применения на территории Российской Федерации, причем как для решения проблем утилизации ТБО, так и задач энергосбережения и энергоэффективности.

#### Библиографический список:

1.«Об обращении с отходами производства и потребления в Ивановской области» [Электронный ресурс] - режим доступа: <http://37.rosпотrebnadzor.ru/document/2819/>

*А.А. Гусейнова, студ.; рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СХЕМА ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ ПО ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В связи с переходом высшего образования Российской Федерации на новую систему подготовки на основе Федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения в ФГБОУ ВПО «Ивановском государственном энергетическом университете имени В.И. Ленина изменилась структура подготовки студентов по направлению 280700 «Техносферная безопасность».

В докладе подробно рассматривается учебный план подготовки бакалавров, который представлен в виде специальной схемы. До поступления на кафедру безопасности жизнедеятельности абитуриенты должны пройти необходимые испытания.

Все изучаемые дисциплины классифицируются по циклам:

1.Первый цикл – гуманитарный, социологический и экономический. К данному циклу относятся такие предметы, как история, культурология, психология и педагогика, правоведение, экономика, менеджмент и др.;

2.Второй цикл – это математический (теоретическая механика, информатика, ноксология, химия, экология, теория горения и взрыва, теория системного анализа и принятия решений и др.);

3. Третий цикл – профессиональный (механика, теплофизика, медико-биологические основы безопасности, безопасность в ЧС, системы защиты среды обитания и т.п.).

Вместе с тем учебно-исследовательская работа студентов (УИР) представлена как дисциплина профессионального цикла.

Каждый цикл обозначен своим цветом. Некоторые предметы объединяют в себе несколько циклов и, соответственно, обозначены двумя или тремя цветами.

По окончании обучения студенты сдают выпускную квалификационную работу (ВКР). Кроме того, на схеме представлены логические связи между дисциплинами, а также учебная и две производственные практики.

Разработанная схема дает возможность быстрого и наглядного представления особенностей подготовки бакалавров профиля 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», что очень удобно и полезно не только для преподавателей и студентов, но и для абитуриентов.

*Е.М. Кузьмина, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗВЕСТНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ В КУРСЕ "ЭКОЛОГИЯ"**

Для проведения анализа для использования компьютерных программ в курсе «Экология» использованы следующие показатели: подготовка исходных данных: какие именно исходные данные запрашиваются, сколько, выдача результатов: какие результаты выдаются, в каком виде выдаются результаты, возможно ли быстро извлечь их для дальнейшего использования, установка программы: поддерживается ли той операционной системой, которая используется, легко ли устанавливается, нужны ли дополнительные условия и программы для ее использования.

Показатели оценить по пятибалльной шкале, в процессе сравнения задать коэффициент значимости показателей.

Используемые программы:

1. Уточнение границ санитарно-защитной зоны.
2. Расчет квоты на выброс загрязняющих веществ.
3. Лабораторные работы по экологии.
4. Атмосфера 2005.

5. Программа расчета выбросов от полигонов ТБО.
  6. Расчет выделений загрязняющих веществ при покраске и сушки.
  7. Расчет выделений загрязняющих веществ при электросварке.
- Рассмотрим краткие характеристики программ.

#### *1. Уточнение границ санитарно-защитной зоны*

Для расчета границ санитарно-защитной зоны нам необходимо знать: размер нормативной санитарно-защитной зоны, направление ветра по румбам (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ), класс опасности предприятия согласно СанПиН.

Программа решает следующие задачи: расчет загрязнений атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия для различных направлений ветра, вычисление санитарно-защитной зоны по СанПиН 2.2.2/2.1.1. 1031 – 01, подготовка расчета и формирования отчета.

#### *2. Расчет квоты на выброс загрязняющих веществ*

Для расчета границ санитарно-защитной зоны нам необходимо знать: наименование вещества (Список веществ ограничен. В него входят: углерода оксид, азота оксид, серы оксид, взвешенные вещества), фоновую концентрацию, максимальная концентрация, создаваемая источниками предприятия на границе санитарно-защитной зоны, суммарный выброс от источников по веществу на существующее положение, максимальная концентрация веществ от совокупности источников предприятия.

Программа решает следующие задачи: расчет фоновой концентрации, расчет перспективной фоновой концентрации, расчет квоты на выброс для каждого загрязняющего вещества, вычисление санитарно-защитной зоны по СанПиН 2.2.2/2.1.1. 1031 – 01, подготовка расчета и формирования отчета, клик правой кнопкой по полю отчета открывает контекстное меню, в котором

предложены опции /печатать/, /экспорт в Word/, /экспорт в Excel/ или в буфер обмена.

#### *3. Лабораторные работы по экологии*

В этом комплексе представлено 5 лабораторных работ: определение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны весовым методом, анализ водных растворов колориметрическим методом, определение качества воды органолептическим и колориметрическим методами, определение жесткости воды, определение остаточного хлора в воде титриметрическим методом.

Каждая лабораторная работа включает в себя: термины и определения, теоретическая часть, экспериментальная часть, контрольные во-

просы. К каждой лабораторной работе необходима лабораторная установка.

#### 4. Атмосфера 2005

В этой программе представлен справочник по загрязняющим веществам. При выборе загрязняющего вещества, программа выдает несколько пунктов: общая характеристика загрязняющего вещества (техническое название, ПДК максимально разовая, ПДК среднесуточная, класс опасности, ПДК, используемая при расчете рассеивания, ПДК, используемая при расчете КОП), норматив сброса за загрязнение окружающей природной среды, информация для заполнения формы (В ней представлено норматив сброса за загрязнение атмосферного воздуха, классификация вещества, для постановки предприятия на государственный учет).

#### 5. Программа расчета выбросов от полигонов (ТБО)

Данная программа решается в программе Microsoft Excel.

В ней представлена общая характеристика полигонов отходов, фазы процесса распада органической составляющей.

Для решения необходимы следующие данные: результаты анализов отходов, отобранных на полигоне, результаты анализа проб биогаза, средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона за теплый период года, продолжительность теплого периода года в районе полигона, количество ТБО, завозимых на полигон в год, год начала работы полигона, год окончания эксплуатации полигона, количество месяцев теплого периода с температурой более 8 град, количество месяцев холодного периода с температурой от 0 до 8 град.

Представляется отчет и подробный расчет.

#### 6. Расчет выделений загрязняющих веществ при окраске и сушке.

Для расчета необходимо знать: марку краски, способ окраски, масса израсходованной краски за год, время непрерывной окраски в день, время сушки по ТУ, количество рабочих дней в году, разделение выброса от операций покраски и сушки.

Программа решает следующие задачи: выводить состав лакокрасочного материала, валовой выброс, общий валовой выброс, максимально валовой выброс, подготовка расчета и формирования отчета.

#### 7. Расчет выделений загрязняющих веществ при электросварке

Для расчета необходимо знать: марка электрода, выбор расчета максимально-разового выброса прямым пересчетом из валового, масса израсходованных электродов за год, время непрерывной сварки в день, количество рабочих дней в году.

**Таблица 1. Сравнение используемых программ**

| Показатель | W | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|

Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере

|   |     | O | O*W  | O*<br>W | O   | OW   | O   | OW   | O   | OW   | O   | OW | O   | OW | O   | OW  |
|---|-----|---|------|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|----|-----|----|-----|-----|
| Поддержка ОС Windows 7                          | 1   | 5 | 5    | 5       | 5   | 5    | 5   | 5    | 5   | 5    | 5   | 5  | 0   | 0  | 0   | 0   |
| Простота установки                              | 0,5 | 5 | 2,5  | 5       | 2,5 | 5    | 2,5 | 5    | 2,5 | 4    | 2   | 5  | 2,5 | 5  | 2,5 | 2,5 |
| Удобство пользования                            | 1   | 4 | 4    | 5       | 5   | 4    | 4   | 3    | 3   | 2    | 2   | 4  | 4   | 4  | 4   | 4   |
| Возможность распечатки результатов              | 0,2 | 4 | 0,8  | 4       | 0,8 | 0    | 0   | 3    | 0,6 | 0    | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   |
| Возможность самоконтроля                        | 0,6 | 0 | 0    | 0       | 0   | 4    | 2,4 | 0    | 0   | 0    | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   |
| Формирование отчета                             | 0,7 | 5 | 3,5  | 5       | 3,5 | 0    | 0   | 4    | 2,8 | 0    | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   |
| Отсутствие дополнительных условий для установки | 0,6 | 5 | 3    | 5       | 3   | 5    | 3   | 5    | 3   | 5    | 3   | 5  | 3   | 5  | 3   | 3   |
| Простота пользования                            | 0,7 | 5 | 3,5  | 5       | 3,5 | 5    | 3,5 | 5    | 3,5 | 5    | 3,5 | 5  | 3,5 | 5  | 3,5 | 3,5 |
| Критерий оптимальности                          | 0,3 |   | 22,3 | 23,3    |     | 20,4 |     | 20,4 |     | 15,5 |     | 13 |     | 13 |     |     |

Программа решает следующие задачи: расчет максимально-разового выброса, расчет валового выброса, подготовка расчета и формирования отчета.

В табл. 1 приведены результаты сравнения программ методом экспертных оценок (W – коэффициент значимости, O – оценка по пяти-балльной шкале).

По данным табл. 1 (по значениям критериев оптимальности, вычисленным по суммам произведений  $O \times W$ ) можно сделать вывод, что наиболее удобной программой для использования по критерию оптимальности является программа "Расчет квоты на выброс загрязняющих веществ". Для более детального и объективного анализа программ задачи расчета из общего списка программ можно выделить следующую группу: расчет квоты на выброс загрязняющих веществ, расчет выделений загрязняющих веществ при покраске и сушки, расчет выделений загрязняющих веществ при электросварке.

**Библиографический список**

1. Электронный ресурс. [http://energosoft.info/soft\\_ecolog.html](http://energosoft.info/soft_ecolog.html)

*Е.Н. Гусева, студ.; рук. А.К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*



## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА ПДВ БЕЗ УЧЕТА ВЗАИМОСВЯЗИ РАСХОДОВ ВЕЩЕСТВА И ГАЗОВ

Для каждого источника загрязнений атмосферного воздуха вредными и опасными веществами рассчитывается значение предельно допустимых выбросов (ПДВ), которое учитывается при оценке экологической безопасности выбросов и при расчетах платежей за загрязнение окружающей среды. Поэтому важно достаточно точно определять величину выбросов.

ПДВ – норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха, при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов [1, 2].

Значение ПДВ (г/с) для одиночного источника с круглым устьем определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\text{ф}}) H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V_{\Gamma} \Delta T} \quad , \quad (1)$$

где ПДК – предельно допустимая концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация;  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м;  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для газов  $F = 1$ );  $m$ ,  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газов из устья источника выброса (эти коэффициенты зависят от  $V_{\Gamma}$  – расхода газозвушной смеси, м<sup>3</sup>/с);  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (для ровной или слабопересеченной местности  $\eta = 1$ );  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_{\Gamma}$  и температурой окружающего атмосферного воздуха  $T_{\text{в}}$  (°C).

Экологическая безопасность выброса оценивается по сумме максимальной концентрации вещества  $c_{\text{м}}(M_{\text{м}})$ :

$$c_{\text{м}} = \frac{A \cdot M_{\text{м}} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_{\text{м}} \cdot \Delta T}} \quad (2)$$

и фоновой концентрации  $c_{\text{ф}}$  в приземном слое воздуха по условию [1]:

$$c_{\text{м}}(M_{\text{м}}) + c_{\text{ф}} \leq \text{ПДК}, \quad (3)$$

где  $M_m$  – выброс вещества, г/с.

Для новых источников выбросов (проектируемых предприятий) величина ПДВ устанавливается равной максимально возможному выбросу вещества  $M_m$ , г/с.

Для действующих источников выбросов предприятий, если выполняется условие (3), ПДВ устанавливается аналогично,  $ПДВ = M_m$ . В тех случаях, когда не выполняется условие экологической безопасности (3) величина ПДВ определяется по формуле (1).

По нашему мнению при определении ПДВ для действующих источников выбросов следует учитывать взаимосвязь массовых расходов выбросов и объемных расходов газов, в которых содержатся загрязнители.

В общем случае при изменении расхода газов (производительности энергетической или теплотехнологической установки) будет изменяться и масса выбрасываемого вещества.

В первом приближении можно принять, что концентрация вещества (выброса) в устье трубы  $c_b$  при изменении расхода газов останется неизменной.

На основании этого можно принять, что величина ПДВ должна определяться по (1) при  $V_{\Gamma} = V_{ПДВ}$ , величину которого можно определить из соотношения:

$$c_b = 1000 \cdot M_m / V_m = 1000 \cdot ПДВ / V_{ПДВ}, \quad (2)$$

где  $M_m$ ,  $V_m$  – расходы вещества и газов, при которых рассчитывается максимальная концентрация вещества в приземном слое воздуха  $c_m(M_m)$  М, для оценки экологической безопасности выброса по условию [1, 2]:

$$c_m(M_m) + c_{\phi} \leq ПДК. \quad (3)$$

Объемный расход газа  $V_{ПДВ}$ , по которому следует рассчитывать ПДВ, определится по формуле:

$$V_{ПДВ} = ПДВ \cdot V_m / M_m. \quad (4)$$

Величина ПДВ в этом случае должна находиться методом последовательных приближений с уточнением расхода газов по формуле:

$$V_{ПДВ, i+1} = 1000 \cdot ПДВ_i / c_b,$$

где  $c_b = 1000 \cdot M_m / V_m$  – постоянно. По значению  $V_{ПДВ, i+1}$  определяются новые величины коэффициентов  $m$ ,  $n$ , необходимые для расчета следующего приближения  $ПДВ_{i+1}$  по формуле (1).

Сравнение результатов расчета ПДВ выполнено при следующих исходных данных:  $A=140$ ;  $c_{\phi}=0,336$ ;  $N=35$ ; диаметр устья трубы – 1,5 м;  $ПДК = 0,5$ ;  $F=1$ ;  $\eta = 1$ .

Концентрация вещества в выбросе задавалась при расходе газов  $V_{\Gamma} = 25 \text{ м}^3/\text{с}$  и массовом расходе выброса  $SO_2$   $M_{\Gamma} = 25 \text{ г/с}$ , при которых

концентрация в выбросе  $c_b = 1000 \cdot M_T / V_T = 1000 \cdot 25 / 25 = 1000 \text{ мг/м}^3$ .  
*Обратим внимание, что исходные (тестовые) значения  $M_T = 25 \text{ г/с}$  и  $V_T = 25 \text{ м}^3/\text{с}$  были выбраны таким образом, чтобы для принятых условий расчета выполнялось равенство (3) и  $M_T = \text{ПДВ}$ .*

Расчеты ПДВ выполнены для максимально возможных выбросов вещества источника меньше или больше  $M_T = \text{ПДВ} = 25 \text{ г/с}$ .

Логично предположить, что для данного источника выбросов предельный (безопасный) расход вредного вещества не должен зависеть от выброса вещества  $M_m, \text{ г/с}$ , по которому выполняется оценка экологической безопасности по (2), (3).

Результаты расчетов представлены на рис. 1.

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы.

1. Как и следовало ожидать величина ПДВ, рассчитанная с уточнением расхода газов формуле (2) постоянна ПДВ=25 г/с (не зависит от  $M_m$ ).

2. При массе выбросов  $M_m=15 \text{ г/с}$  ПДВ, рассчитанное без уточнения  $V_T$  равно 18 г/с (меньше тестового (истинного) значения ПДВ= 25 на 28 %).

3. При массе выбросов  $M_m=40 \text{ г/с}$  ПДВ, рассчитанное без уточнения равно 35 г/с (больше тестового (истинного) значения на 29 %).

На основании анализа погрешности расчета ПДВ без учета взаимосвязи расходов вещества и газов можно полагать, что для источников выбросов, нарушающих условие экологической безопасности выброса (3), определение величины ПДВ без учета взаимосвязи массовых расходов выбросов и объемных расходов газов приводит к получению завышенных значений ПДВ.

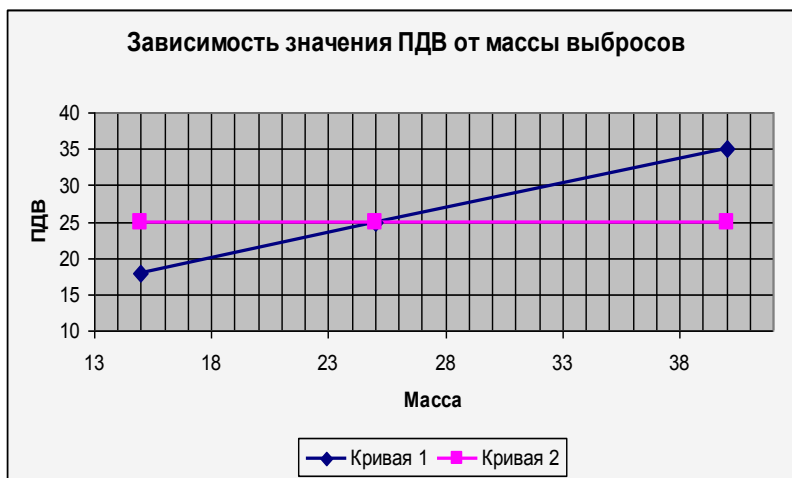


Рис. 1. Зависимость ПДВ от массы выбросов, рассчитанная по формуле (1); кривая 1 – ПДВ, рассчитанное по известной методике без уточнения расхода газов  $V_1 \neq f(M)$ , кривая 2 – ПДВ, рассчитанное с уточнением расхода газов формуле (2)

#### Библиографический список

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеиздат. – 1997.
2. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух/ Доп. и перераб. – СПб.: ФС РОСТЕХНАДЗОР. – 2005.

*Д.С. Шарова, студ.; рук. Г.В. Попов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### ИГРОФИКАЦИЯ, КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

В докладе рассматривается, так называемая, игрофикация в аспекте обеспечения безопасности производственной деятельности. Дается краткая хронология развития этого метода и описывается процесс внедрения его на производство. Анализируются цели и задачи игрофикации, так же говорится о способах мотивации работников к обучению и соблюдению всех требований безопасности на рабочем месте и на производстве в целом. Описывается как инженер по охране труда, ин-

терполируя множеством вариантов в создании «игры», может превратить даже самую сложную задачу для работника в увлекательное занятие.

Кроме этого, указано из каких именно игровых элементов состоит игрофикация. Каким же образом в неигровые процессы плавно внедряются элементы игровых? С технической точки зрения это достигается за счет переноса в разрабатываемую программу следующих игровых элементов:

1. Динамика игры — имеется определенный сценарий, следуя которому игрок достигает цели;

2. Механика игры — применяется типичная атрибутика, отражающая прогресс в игре, например, виртуальные деньги, рейтинговые таблицы, иные награды и призовые очки;

3. Эстетика игры — создается определенный тематический фон, эмоциональное поле игры для поддержания интереса пользователя.

Как правильно придать динамику, механику и эстетику игре. И объясняется, каким же образом игровые элементы могут плавно внедряться в неигровые процессы, приводятся примеры. Как один из примеров игрофикации, подробно рассматривается инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. В докладе приведены результаты опроса об использовании игрофикации организациями, а так же дана оценка самих сотрудников об использовании данного метода для обеспечения безопасности труда.

Так как рассматриваемый метод недостаточно апробирован, он несколько противоречив и пока имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

#### Библиографический список

1. Электронный ресурс <http://ohranatruda.ru/news/898/150949/>
2. Электронный ресурс <http://www.pvsm.ru/yuzabiliti/25578>

*Е. А. Ивакина, студ.; рук. А. К. Соколов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СВОЙСТВА РАБОЧЕЙ ОДЕЖДЫ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ТКАНЕЙ

Спецодежда рабочая и профессиональная предназначена для того, чтобы оберегать работника от неблагоприятных воздействий климатических факторов, механических загрязнений и повреждений. Она

должна содействовать созданию необходимого микроклимата между кожей и одеждой, быть легкой и удобной.

Современная спецодежда изготавливается из натуральных, синтетических или смесовых тканей.

Анализ физические свойств тканей, таких как воздухопроницаемость, гигроскопичность, сминаемость, паропроницаемость, водупорность, теплозащита, пылеемкость, электризуемость и др. показывает, что натуральные ткани обладают прекрасными гигиеническими свойствами, но при этом имеют очень низкие механические показатели, кроме того, они подвержены гниению, дают высокую усадку, изделия из таких тканей имеют высокую сминаемость, низкую формоустойчивость. У синтетических волокон отсутствуют все вышеперечисленные минусы, то есть ткани из этих волокон имеют прекрасные механические характеристики (высокая прочность и формоустойчивость, устойчивость к гниению, несминаемость, прочность и стойкость окраски), но при этом очень плохие гигиенические показатели и высокую электризуемость.

В табл. 1 приведена качественная оценка свойств тканей.

**Таблица 1. Качественная оценка свойств тканей из синтетических и натуральных волокон [1]**

| <b>Ткани из синтетического волокна</b> | <b>Ткани из натурального волокна</b> |
|--|--------------------------------------|
| Минимальная усадка                     | Максимальная усадка                  |
| Устойчивость к гниению                 | Подвержена гниению                   |
| несминаемость                          | Высокая сминаемость                  |
| Высокая формоустойчивость              | Низкая формоустойчивость             |
| Износоустойчивость                     | Низкая износостойкость               |
| Низкое влагопоглощение                 | Хорошее влагопоглощение              |
| Высокая электризуемость                | Низкая электризуемость               |
| Плохой теплообмен                      | Хороший теплообмен                   |
| Низкая пылеемкость                     | Высокая пылеемкость                  |
| Низкая проницаемость                   | Высокая проницаемость                |
| Яркость и стойкость окраски            | Плохая стойкость крашения            |

Примечание. Выделены свойства ткани, в основном определяющие способность обеспечивать комфортные (допустимые) микроклиматические условия труда

Выбор типа тканей для пошива рабочей одежды представляет весьма сложную задачу, при решении которой следует учитывать разнообразные критерии оптимальности:

1. цена;
2. срок службы (долговечность);
3. эксплуатационные расходы на поддержание качества одежды (чистка, стирка, глажение);

4. способность обеспечивать комфортные условия микроклимата в пространстве между телом человека и одеждой, которая определяется такими свойствами как плотность, пыленепроницаемость, воздухопроницаемость, гигроскопичность, паропроницаемость, водоупорность, теплостойкость, теплопроводность.

Проблема выбора тканей рабочей одежды экспертными методами усложняется различными подходами к назначению величины коэффициентов значимости критериев с точки зрения работодателей и работников организаций.

Для работодателей более важными считаются критерии 1-3, а для работников – критерии 4-й группы.

Принимая решение о выборе тканей рабочей одежды, работодатели возможно не всегда в полной мере учитывают ее функциональное назначение для обеспечения комфортных условий микроклимата, которое в значительной степени зависит от условий труда и теплофизических характеристик одежды.

Рассмотрим более детально влияние теплофизических характеристик тканей одежды на выполнение ею основных гигиенических функций.

Основные функции рабочей одежды заключаются в обеспечении комфортных или допустимых условий труда, а не в согревании тела человека, как иногда считают.

Исключение периодов времени, когда у человека могут появиться неблагоприятные ощущения «жарко» или «холодно», обеспечивается регулированием процессов тепло- и массообмена, в которых участвует одежда человека.

Необходимость регулирования процессов тепло- и массообмена возникает при избытке  $+ΔQ$  или дефиците теплоты  $-ΔQ$  в организме человека

$$ΔQ = Q_{ТВ} - Q_{ТО} - Q_{ИСП} - Q_{В},$$

где  $Q_{ТВ}$  – мощность тепловыделений в теле человека, которая составляет от 85 до 695 Вт,  $Q_{ТО}$  – теплопередача через одежду явной теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением,  $Q_{ИСП}$  – передача теплоты потовыделением и испарением влаги с поверхности кожи,  $Q_{В}$  – потери теплоты за счет нагрева выдыхаемого воздуха.

В теле человека идут непрерывные процессы преобразования энергии пищи в другие виды энергии, включая тепловую. Вся тепловая энергия должна постоянно отводиться в окружающую среду через одежду.

Кроме того организм человека через потовые железы непрерывно выделяет влагу (пот). В спокойном состоянии при температуре воздуха

в помещении от 10 до 35 °С – в количестве от 30 до 115 г/ч. При увеличении физических нагрузок для отвода избыточной теплоты механизм терморегуляции человека интенсифицирует потовыделение. Выделение пота при температуре воздуха 35 °С в зависимости от категории тяжести труда может достигать 415 г/ч [2].

Влага должна испаряться с поверхности тела человека, а пар отводиться с проточным воздухом пододежного пространства и через одежду. Мощность отвода теплоты от тела с паром за счет скрытой теплоты парообразования  $Q_{\text{исп}}$  может в несколько раз превышать потери теплоты теплопроводностью  $Q_{\text{то}}$ .

Интенсивность потовыделения возрастает, если в теле выделяется теплоты больше, чем может быть отведено теплопроводностью через одежду  $Q_{\text{то}}$  и с выдыхаемым воздухом (при увеличении  $+\Delta Q$ )

$$Q_{\text{тв}} > Q_{\text{то}} + Q_{\text{в}}$$

Если одежда не сможет пропустить необходимую массу, выделившегося пара, в пододежном пространстве повысится относительная влажность, интенсивность испарения пота понизится и потовыделение станет изнурительным, так как от тела не будет отводиться необходимое количество теплоты испарением влаги. Допустимые условия труда выполняться не будут, и возникнет ощущение «жарко». Обратим внимание, что испарившийся пот "забирает" теплоты более чем в 20 раз больше, чем пот, выделившийся в виде влаги.

Недостаточная паропроницаемость тканей одежды приведет к задерживанию паров в слое воздуха под одеждой, увлажнению прилегающих слоев одежды. *(Хлопчатобумажные ткани имеют более высокую паропроницаемость и влагоемкость, чем смесовые ткани).*

При снижении интенсивности труда (например, во время отдыха) или при изменении параметров внешней среды влажная ткань создаст еще одну проблему для здоровья человека. Испарение влаги из ткани и с поверхности тела человека вызовет ощущение "холодно", так как отводится теплоты будет больше, чем выделяться в организме человека.

Кроме того влажная ткань снизит теплозащитные свойства одежды.

В этом периоде необходимо, чтобы скорость испарения водяных паров тканями была более низкой. *(Хлопчатобумажные ткани имеют более низкую скорость испарения, чем смесовые ткани).*

Следует отметить, что возникновение неблагоприятных ощущений «жарко» или «холодно» вызовут следующие возможные негативные последствия:

- снижение производительности труда,
- увеличение числа и тяжести простудных заболеваний.



В тех случаях, когда условия труда стабильны (в реальных условиях наблюдается редко) более высокие коэффициенты значимости можно задать для критериев 1-3. Тогда, возможно, смесовые ткани по ряду могут оказаться показателем предпочтительнее хлопчатобумажных.

Однако в большинстве случаев условия труда нестабильны. К нарушению баланса по тепловой энергии и массе влаги (пота) могут привести:

- изменение внешних условий среды (выход на улицу, например проводника вагона, смена рабочей зоны или рабочей площадки (у паровых котлов температуры воздуха на разных отметках (высотах) могут различаться на 20 К), усиление или ослабление скорости воздушного потока или изменение его температуры, влажности из-за смены параметров наружного воздуха и направления ветра, степени открытия проемов, изменение интенсивности солнечного излучения и др.);
- изменение тяжести труда (периодическое увеличение интенсивности труда или периоды кратковременного отдыха).

Одежда, параметры которой могли бы подстраиваться под изменяющиеся интенсивность труда человека и условия среды, пока нет (возможно, исключая скафандры космонавтов). Следовательно, для снижения вероятности негативные последствий: понижения производительности труда, увеличения числа и тяжести простудных заболеваний в качестве определяющего критерия выбора следует принимать гигиенические свойства тканей одежды (они выделены в табл. 1). По этим свойствам *хлопчатобумажные ткани имеют более высокие показатели, чем смесовые ткани.*

#### Библиографический список

1. **Электронный ресурс:** <http://www.agropromdv.ru/inform/19-nemnogo-o-smesovyh-tkanjah.html>
2. **Белов С.В.,** Симакова Е.Н. Ноксология, М. Изд-во Юрайт, 2012 г. [http://280700.ru/?page\\_id=156](http://280700.ru/?page_id=156)

## СЕКЦИЯ 12

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Председатель – д.т.н., профессор А.И. Тихонов  
Секретарь – аспирант И.А. Корнев*

*Ю.В. Алтухов, студ., рук. И.А. Чусов, к.т.н., доц.  
(ИАТЭ, г. Обнинск), М.М. Тревгода, к.т.н., в.н.с.  
(ГНЦ РФ-ФЭИ, г. Обнинск)*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В АКТИВНЫХ ЗОНАХ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Упрощенные модели течения на основе уравнений Навье-Стокса (УНС) строятся для класса течений, для которых имеется возможность выделить основное направление течения. К такому классу течений относятся течения с умеренными и большими числами Рейнольдса. В значительной степени этот класс течений определяется геометрией: для большинства внутренних течений поток ограничен стенкой (стенками), и геометрия стенок определяет выделенное направление.

Среди наиболее известных УНС моделей для внутренних течений вязкого газа или жидкости можно выделить следующие модели, нашедшие широкое применение: приближение пограничного слоя [1]; приближение узкого канала (УК) или длинного канала [2] и некоторые его модификации; параболизированные модели (получаемые путем отбрасывания в полных уравнениях НС всех вязких членов, содержащих производные вдоль основного направления течения) [1].

Исходная система уравнений, включающая законы сохранения массы, импульса, момента импульса, сохранения и превращения энергии и второго начала термодинамики имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_m = 0$$
$$\frac{\partial(\rho \vec{u})}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{j}_m \otimes \vec{u}) = \rho \vec{F} + \operatorname{div} P$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{x} \times \rho \vec{u}) + \operatorname{div} (\vec{j}_m \otimes (\vec{x} \times \vec{u})) &= [\vec{x} \times \rho \vec{F}] + \frac{\partial}{\partial x_i} [\vec{x} \times P_{ij} e_j] \\ \frac{\partial}{\partial t} \left[ \rho \left( \frac{\vec{u}^2}{2} + c_p T \right) \right] + \operatorname{div} \left[ \vec{j}_m \left( \frac{\vec{u}^2}{2} + c_p T \right) \right] &= (\vec{j}_m \cdot \vec{F}) + \operatorname{div} \vec{A} - \operatorname{div} \vec{q} \\ \frac{\partial(\rho s)}{\partial t} + \operatorname{div} (\vec{j}_m s) &= \operatorname{div} \left( \frac{\vec{q}}{T} \right) + X \end{aligned}$$

Здесь  $\vec{j}_m \otimes \vec{u}$  - тензор второго ранга, полученный прямым произведением векторов  $\vec{j}_m$  и  $\vec{u}$ . При вычислении дивергенции от тензора второго ранга свертка осуществляется по первому индексу.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} &= 0 \\ \rho \frac{\partial U}{\partial \tau} + \rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} &= X - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ -\mu \left( \frac{4}{3} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right] - \\ &\quad - \frac{\partial}{\partial y} \left[ -\mu \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \\ \rho \frac{\partial V}{\partial \tau} + \rho U \frac{\partial V}{\partial x} + \rho V \frac{\partial V}{\partial y} &= Y - \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ -\mu \left( \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) \right] - \\ &\quad - \frac{\partial}{\partial y} \left[ -\mu \left( \frac{4}{3} \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] \end{aligned}$$

При записи уравнений вводились следующие критерии динамического и теплового подобия:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho_0 L_0 U_0}{\mu_0}; & Sh &= \frac{L_0}{\tau_0 U_0}; & Gr &= \frac{g \beta_0 \rho_0^2 L_0^3 T_0}{\mu_0^2}; \\ Eu &= \frac{P_0}{\rho_0 U_0^2}; & Fr &= \frac{U_0^2}{g L_0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Sh \bar{\rho} (\partial \bar{u})}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\bar{\rho} \bar{u} (\partial \bar{u})}{\partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v} (\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} &= -Eu \frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{x}} + \frac{4}{3} \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left( \frac{\bar{\mu} (\partial \bar{u})}{\bar{\mu}} \right) - \\ &\quad - \frac{2}{3} \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left( \frac{\bar{\mu} (\partial \bar{v})}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu} (\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu} (\partial \bar{v})}{\partial \bar{x}} \right) + \\ &\quad + \frac{Gr}{Re^2} \bar{\rho} \bar{\beta} \Delta \bar{T} + \frac{\bar{p}}{Fr} \\ \frac{Sh}{\sqrt{Re}} \frac{\bar{\rho} (\partial \bar{v})}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\bar{\rho} \bar{u}}{\sqrt{Re}} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v}}{\sqrt{Re}} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} &= -\sqrt{Re} Eu \frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{y}} + \frac{1}{\sqrt{Re^3}} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left( \frac{\bar{\mu} (\partial \bar{v})}{\bar{\mu}} \right) \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left( \bar{\mu} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{v})}{\partial \bar{y}} \right) - \frac{2}{3} \frac{1}{\sqrt{Re}} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{x}} \right)$$

Рассматривая далее для простоты только случай стационарного течения и отбрасывая члены более высокого порядка малости чем  $O(1)$  и  $O(1/Re^{1/2})$  получим:

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{v}}{\partial \bar{y}} = 0$$

$$\frac{\bar{\rho} \bar{u}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} = -Eu \frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{Gr}{Re^2} \bar{\rho} \bar{\beta} \Delta \bar{T} + \frac{\bar{\rho}}{Fr}$$

$$\frac{\bar{\rho} \bar{u} \partial \bar{v}}{\sqrt{Re} \partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v} \partial \bar{v}}{\sqrt{Re} \partial \bar{y}} = + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{v})}{\partial \bar{y}} \right)$$

Выражение для продольного градиента давления запишем исходя из того, что на восходящий поток действует сила трения в пучке стержней и сила обусловленная наличием в потоке местных сопротивлений (дистанционирующие решетки). Тогда для продольного градиента давления имеем:

$$\frac{d\bar{P}}{dl} = \left( \frac{\lambda}{d_r} + \frac{\xi}{dl} \right) \frac{\bar{\rho} \bar{u}^2}{2}$$

Тогда исходные уравнения можно записать в виде:

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{v}}{\partial \bar{y}} = 0$$

$$\frac{\bar{\rho} \bar{u}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} = \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{u})}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{Gr}{Re^2} \bar{\rho} \bar{\beta} \Delta \bar{T} +$$

$$+ \frac{\bar{\rho}}{Fr} + Eu \left( \frac{\lambda}{d_r} + \frac{\xi}{dl} \right) \frac{\bar{\rho} \bar{u}^2}{2}$$

$$\frac{\bar{\rho} \bar{u}(\partial \bar{v})}{\partial \bar{x}} + \frac{\bar{\rho} \bar{v}(\partial \bar{v})}{\partial \bar{y}} = \frac{4}{3} \sqrt{Re} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial \bar{v})}{\partial \bar{y}} \right)$$

Вводя функцию тока в виде:

$$\bar{\rho} \bar{u} = \frac{\partial \psi}{\partial \bar{y}}; \quad \bar{\rho} \bar{v} = - \frac{\partial \psi}{\partial \bar{x}}.$$

а новую продольную преобразованную координату:

$$\xi \equiv x,$$

получим формулы перехода к преобразованным координатам:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{x}} = \frac{\partial}{\partial \xi} - \frac{\bar{\rho} \bar{v} \partial}{\partial \psi} \quad \frac{\partial}{\partial \bar{y}} = \frac{\partial}{\partial \psi}$$

Применяя формулы перехода к исходным уравнениям окончательно получим:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \frac{\bar{\rho} \bar{u}}{\bar{\rho} \bar{u}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \psi} \right) + \frac{1}{\bar{\rho} \bar{u}} \left( \frac{Gr}{Re^2} \bar{\rho} \bar{\beta} \Delta \bar{T} + \frac{\bar{\rho}}{Fr} + Eu \left( \frac{\lambda}{d_r} + \frac{\xi}{dl} \right) \frac{\bar{\rho} \bar{u}^2}{2} \right)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial \xi} = \frac{4}{3} \sqrt{Re} \left( \frac{\bar{\rho} \bar{u}}{\bar{\rho} \bar{u}} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \psi} \right)$$

Полученная система дифференциальных уравнений в частных производных, значительно проще исходной, поскольку не содержит конвективных составляющих. Фактически полученная система уравнений является системой уравнений типа уравнений теплопроводности.

#### Библиографический список

1. Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. Внутренние течения газовых смесей. М.: Наука, 1989. 368 с.
2. Williams J.C. Viscous compressible and incompressible flow in slender channels // AIAA Journal. 1963. V.1. №1. P.186-195.

*Е.В. Зуборев, студ.; М.М. Тревгода, к.т.н., в.н.с.;  
рук. И.А. Чусов, к.т.н., доц.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, ГНЦ РФ-ФЭИ; г. Обнинск)*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВЕ ВЫСШИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ МЕТОДА ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА

В настоящее время расчет теплогидравлических параметров реакторных установок типа ВВЭР, РБМК и БН выполняют используя различные модели течения: модель определения средних характеристик для каналов (ячеек), путем решения системы балансных уравнений массы, импульса и энергии с учетом межканального обмена (поканальная методика); модель расчета локальных характеристик полей скорости и температуры в потоке и на твердых поверхностях на основе решения системы дифференциальных уравнений неразрывности, движения и теплообмена (метод локальных параметров); модель расчета

средних объемных характеристик пучка твэл на основе решения системы дифференциальных уравнений в приближении пористого тела (модель пористого тела).

Та же тенденция сохраняется при попытках описания движения сплошной среды при сверхкритических параметрах теплоносителя в проточных частях активных зон реакторов Generation-IV. В большинстве случаев используют классический подход предложенный О. Рейнольдсом [1, 2]. При этом составляющие тензора турбулентных напряжений рассчитываются по гипотезе Буссинеска [1] с использованием понятия коэффициента турбулентной вязкости.

Однако такой «лобовой» подход представляется сомнительным при расчете течений со сверхкритическими параметрами. Во первых, течение теплоносителя в проточной части реакторной установки характеризуется тем, что изменение энтальпии потока много больше характерной величины кинетической энергии. Во вторых, течение в проточной части активной зоны сопровождается значительным изменением теплофизических свойств теплоносителя (рис. 1) [3 - 4]. Эти обстоятельства приводят к необходимости решения уравнений переноса импульса и энергии с учетом кинетических эффектов учитываемых барнеттовскими слагаемыми входящими в тензор напряжений и тепловых потоков. Течение теплоносителя реализуется в условиях  $M \rightarrow 0$ ,  $Kn \rightarrow 0$ ,  $Re \gg O(1)$ . При таких значениях режимных параметров барнеттовские слагаемые в уравнении импульса имеют тот же порядок, что и навье-стоксовские, а в случае турбулентных течений, такой же порядок, что «кажущиеся», турбулентные напряжения О. Рейнольдса.

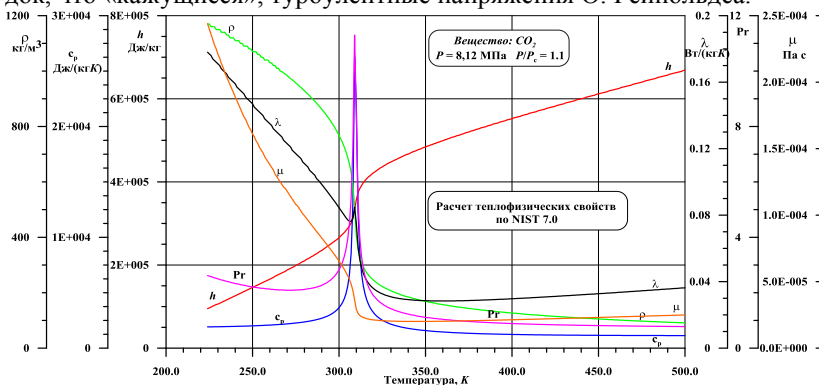


Рис. 1. Теплофизические свойства CO<sub>2</sub> в окрестности псевдокритической точки

Вывод уравнений механики сплошных сред в рамках молекулярно-кинетической теории базируется на методе Чепмена-Энскога. Уравнения Барнетта являются вторым приближением метода Чепмена-Энскога решения уравнения Л. Больцмана при числах Кнудсена значительно меньших единицы ( $Kn \ll 1$ ).

Расчет газодинамических параметров теплоносителя проводят на основании решения следующей системы дифференциальных уравнений:

•уравнения неразрывности

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

•уравнения количества движения

$$\rho \frac{Du_i}{x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

•уравнения энергии

$$\frac{3}{2}nk \frac{DT}{Dt} + \rho \frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial q_i}{\partial x_j} + \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad (3)$$

Оператор  $D/Dt$  определяется как

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_k \frac{\partial}{\partial x_k} \quad (4)$$

Замыкание системы (1) – (4) осуществляется с помощью метода Чепмена-Энскога в виде рядов

$$p_{ij} \sim \sum_{k=0}^{\infty} p_{ij}^{(k)}, \quad q_i \sim \sum_{k=0}^{\infty} q_i^{(k)} = 0. \quad (5)$$

Суть метода заключается в формальном нахождении решения уравнения Л. Больцмана:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\bar{v} \nabla_{\bar{x}})f + (\bar{F} \nabla_{\bar{v}})f = L(f, f) \quad (6)$$

в виде асимптотического ряда по степеням малого неотрицательного параметра  $Kn$ :

$$f = f^{(0)} (1 + Kn \cdot f^{(1)} + Kn^2 \cdot f^{(2)} + Kn^3 \cdot f^{(3)} + \dots) \quad (7)$$

Здесь число Кнудсена определяется как

$$Kn = \frac{\lambda}{L}.$$

В методе Чепмена-Энскога для решения уравнения Л. Больцмана рассматривается интеграл взаимодействия, близкий к локально-равновесному, когда функция  $f$  близка к максвелловскому распределению

$$f(x, V, t) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^3}} \exp\left(-\frac{m(u - V)^2}{2kT}\right)$$

На основании этого учитывая первое слагаемое разложения (7) получают уравнения Эйлера, учитывая первое и второе слагаемое – уравнения Навье–Стокса, учитывая первые три слагаемые разложения (7) – уравнения Барнетта и т.д.

Уравнения импульса для продольной и поперечной координат с учетом компонент тензора напряжений Барнетта (рассматривается декартова система координат, уравнение энергии не приводится) имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} &= 0 \\ \rho \frac{\partial U}{\partial \tau} + \rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} &= X - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ -\mu \left( \frac{4}{3} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right] - \\ &- \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\mu^2}{\rho T^2} \left\{ \omega_1 T \left( \frac{2}{3} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{3} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \omega_2 \left( \frac{2}{3} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right) \right\} \right] - \\ &- \frac{\partial}{\partial y} \left[ -\mu \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\mu^2}{\rho T^2} \left\{ \omega_1 T \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + \omega_2 \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} \right\} \right] \\ \rho \frac{\partial V}{\partial \tau} + \rho U \frac{\partial V}{\partial x} + \rho V \frac{\partial V}{\partial y} &= Y - \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ -\mu \left( \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) \right] - \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\mu^2}{\rho T^2} \left\{ \omega_1 T \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + \omega_2 \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} \right\} \right] &- \frac{\partial}{\partial y} \left[ -\mu \left( \frac{4}{3} \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] - \\ &- \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\mu^2}{\rho T^2} \left\{ \omega_1 T \left( \frac{2}{3} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{3} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \omega_2 \left( \frac{2}{3} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 \right) \right\} \right] \end{aligned}$$

Для приведения исходных уравнений к безразмерной форме вводятся следующие масштабные коэффициенты

$$\begin{aligned} P &= \bar{P} P_0; & \mu &= \bar{\mu} \mu_0; & y &= \bar{y} y_0; & x &= \bar{x} L_0; & \rho &= \bar{\rho} \rho_0 \\ V &= \bar{v} v_0; & T &= \bar{T} T_0; & \beta &= \bar{\beta} \beta_0; & U &= \bar{u} U_0; & \tau &= \bar{\tau} \tau_0 \\ & & & & y_0 &= L_0 / \sqrt{Re}; & v_0 &= U_0 / \sqrt{Re} \end{aligned}$$

Отбрасывая члены более высокого порядка малости чем  $O(1)$  и  $O(1/Re^{1/2})$  и переходя к безразмерным параметрам получим

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{v}}{\partial \bar{y}} = 0$$



$$\frac{Sh\bar{\rho}(\partial\bar{u})}{\partial\bar{\tau}} + \frac{\bar{\rho}\bar{u}(\partial\bar{u})}{\partial\bar{x}} + \frac{\bar{\rho}\bar{V}(\partial\bar{u})}{\partial\bar{y}} = -Eu \frac{\partial\bar{P}}{\partial\bar{x}} + \frac{\partial}{\partial\bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}(\partial\bar{u})}{\partial\bar{y}} \right) + \frac{Gr_x}{Re^2} \bar{\rho}\bar{\beta}\Delta\bar{T}$$

$$+ \frac{2}{3} \frac{\omega_2}{\sqrt{Re}} \frac{\partial}{\partial\bar{y}} \left( \frac{\bar{\mu}^2}{\bar{\rho}\bar{T}} \left( \frac{\partial\bar{T}}{\partial\bar{y}} \right)^2 \right) + \frac{Gr_y}{Re^2} + \frac{\bar{\rho}}{Fr}$$

При записи уравнений вводились следующие критерии динамического и теплового подобия

$$Re = \frac{\rho_0 L_0 U_0}{\mu_0}; \quad Sh = \frac{L_0}{\tau_0 U_0}; \quad Gr = \frac{g \beta_0 \rho_0^2 L_0^3 T_0}{\mu_0^2}; \quad Eu = \frac{P_0}{\rho_0 U_0^2}; \quad Fr = \frac{U_0^2}{g L_0}$$

Все обозначения общеприняты. Индексом «0» обозначены масштабные множители.

#### Библиографический список

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. –М.: Наука, 1987. –840 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя/ Пер. под ред. Л.Г. Лойцанского., –М.: Наука, 1974. – 712 с.
3. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П., Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). –М.: Энергоатомиздат., 1990. –358 с.
4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С. Гидродинамические расчеты. –Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2007.

*Е.В. Варсеев, асп.; рук. В.В. Алексеев, д.т.н.  
(ГНЦ «РФ-ФЭИ», г. Обнинск)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА В ОХЛАЖДАЕМОМ КАНАЛЕ С НАТРИЕМ

В работе представлены результаты исследований массообмена в охлаждаемом канале с высокотемпературным натрием на жидкометаллическом стенде. Приведены результаты распределения скорости накопления отложений в канале, полученные в опыте, и результаты дисперсного анализа проб взвесей из натрия.

#### Массообмен в жидких металлах

Массоперенос в жидких металлах (ЖМ) заключается в переносе продуктов коррозии и других примесей из «горячего» места контура в «холодное». Массоперенос является важной проблемой решаемой при проектировании и эксплуатации контуров ЯЭУ с жидкометаллическими теплоносителями (ЖМТ).

Протекание массообменных процессов может приводить к целому ряду негативных последствий: в результате коррозии происходит де-

градация свойств конструкционных материалов, повышается риск разгерметизации контура из-за утонения его стенок, отложения на холодной стороне установки могут приводить к ухудшению теплоотдачи, сужению и забиванию проходных сечений каналов гидравлического тракта реактора. Кроме того, в реакторных установках продукты коррозии активируются, проходя через активную зону. Это влечет за собой ухудшение радиационной обстановки на холодной стороне установки. Все это приводит к снижению уровня надежности и безопасности установок с жидкими металлами.

В связи с этим возникает потребность как определения скорости поступления продуктов коррозии в ЖМТ и скорости кристаллизации их в холодной зоне опытным путем, так и предсказания с использованием расчётных моделей.

### Экспериментальная установка и методика эксперимента

Испытания проводились на неизотермическом стенде с объемом натрия 250 л. Специально для испытаний на стенде был смонтирован экспериментальный участок с теплообменником (ТМОТ), в которой натрий охлаждался на 250 °С, тем самым пересыщался примесями, которые и накапливались на стенке канала. В участке также смонтирован нагреватель, источник примесей (ИП) с материаловедческими образцами и фильтр взвесей. Схема участка представлена на рис. 1.

Узел с ТМОТ представляет собой противоточный теплообменник натрий-натрий, состоящий из трубы, выполненной из железа. ТМОТ помещена в кожух из трубы большего диаметра. На внешней поверхности кожуха расположены термопары.

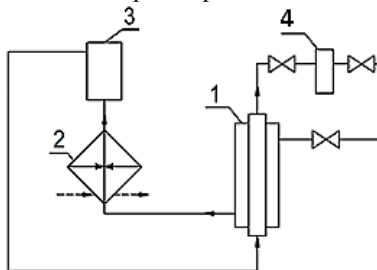


Рис. 1. Схема экспериментального участка стенда:

1 – узел с ТМОТ; 2 – нагреватель; 3 – источник примесей; 4 – фильтр взвесей

Участок работает следующим образом: натрий подается в межтрубное пространство узла ТМОТ (1) при температуре 350-450 °С, где подогревается до 630-660 °С, а затем поступает в нагреватель (2),

откуда с температурой 750-780 °С подается в ИП (3). Из ИП натрий подается в ТМОТ (1), на охлаждаемую поверхность которой переносятся примеси. Затем натрий попадает в фильтр взвесей (4) и уходит обратно в контур стенда. Температура натрия на входе и выходе из ТМОТ составляла 540 °С.

ИП изготовлен в виде стальной емкости, заполненной стружкой из стали X18H10T общей площадью около 0,6 м<sup>2</sup>, которая определялась расчетным путем по удельной массе к единице поверхности. В ИП были размещены образцы, причем часть находилась до стружки, другая – после нее.

Фильтр взвесей представляет собой сосуд из стали X18H10T, в котором смонтирован цилиндрический фильтрующий элемент из металлической сетки саржевого переплетения на перфорированной оправке. Конструкция фильтра позволяет удерживать фильтрат, как локализующийся на сетке, так и отделившийся от нее в процессе прокатки натрием и при репарировании узла после опыта.

#### **Результаты и обсуждение**

В результате серии из четырех испытаний были получены распределения отложений в каналах. Распределения потока хрома на стенку канала показаны на рис. 2. Видно, что величина  $J$  по длине неравномерна: к концу участка она уменьшается как минимум на порядок величины, причем ее значения в конце участка примерно одинаковы для всех случаев. Кроме того, скорость роста отложений в начале участка

для случаев с  $C_0 = 5 \text{ млн}^{-1}$  близка к расчетному значению скорости коррозии стали X18H10T  $7,5 \cdot 10^{-9} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ , являющейся источником примеси. Однако это скорость в 2,8 раза меньше полученной в том же опыте на образцах из стали X18H10T. Такая завышенная по сравнению с расчетом опытная величина может объясняться недостаточным временем испытаний – порядка 100 ч., в то время как для выхода на стационарный массообменный режим требуется 500 - 1000 ч

Такая картина распределения скорости отложений схожа с распределением скорости коррозии длине канала – рис. 3, и с данными другим авторов [1], по которым скорость отложений в «холодном» месте контура была от 30 до 100 % скорости коррозии в «горячем».

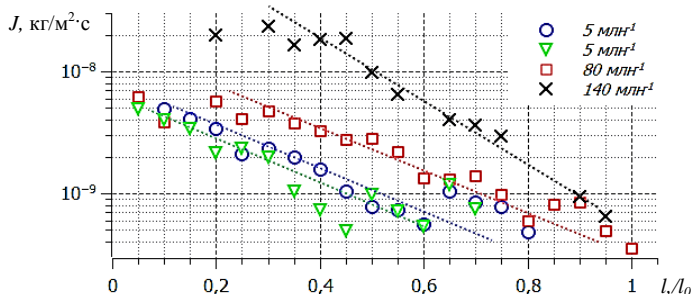


Рис. 2. Распределение потока хрома по длине участка

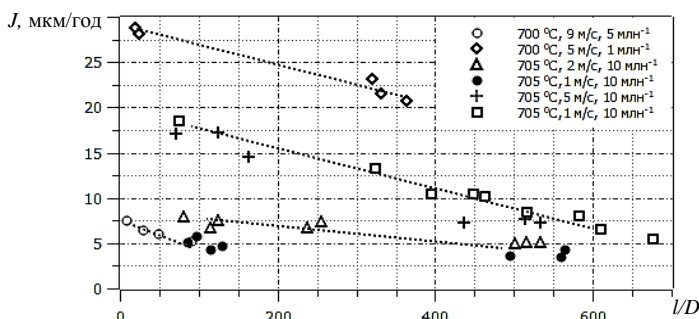


Рис. 3. Скорости коррозии стали 316 от параметра  $l/d$  [2]

Эффект, изображенный на рис. 3, отражен в полуэмпирическом выражении Заброски, который определил его вперые:

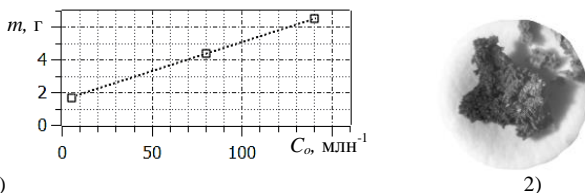
$$J = v^{0,4} \cdot C_O^{1,156} \cdot \exp(12,845 - 13300/T - 0,00676 \cdot L/d + 2,26/(\tau + 1))$$

Поз же он был подтвержден в других работах [3]:  $\alpha(l/d) = 7,2 \div 59 \cdot 10^{-4}$ .

Исследование проб взвесей, осажденных на фильтре, показало, что обнаруженная масса взвеси равна 1,6 г (при 5 млн<sup>-1</sup> – рис. 4, 1), что составляет около 45 % от потери массы стружки в ИП – 3,4±0,2 г. Расчет же показал, что потери массы равна величине около 3 г. Такая же оценка при повышенных содержаниях кислорода – 80 и 140 млн<sup>-1</sup> – показала, что потеря массы составляет свыше 80 г и 200 г соответственно, что не соответствует действительности. Это говорит о том, использование для расчета формулы вида  $J = A \cdot C^{l,2} \cdot \exp(-B/T)$  ограничено по содержанию кислорода.

Результаты дисперсного анализа с помощью оптического микроскопа и программы IMAGEJ показали, что наиболее вероятный размер

частиц в пробах – 2,5; 4; 5 и 15 мкм. Причем частицы размером более 30 мкм чаще всего являются конгломератами из более мелких частиц. Частицы же менее 5 мкм являются монолитными частицами оплавленного металла.



1)  
Рис. 4. Результаты анализа отложений: 1 – количество накопленного осадка в фильтре от содержания кислорода в натрии; 2 – внешний вид частицы отложений (~30 мкм);

### Заключение

Анализ результатов экспериментов по изучению массообмена в натрии показал, что скорость отложений в холодной зоне составляет от 30 до 100 % скорости коррозии сталей на горячей стороне.

Количество взвешенной фазы, накопленной на фильтре в контуре с натрием, пропорционально концентрации кислорода в контуре.

Дисперсный анализ порошка взвесей, накопленных в фильтре контура, показывает, что наиболее вероятный размер частиц в контуре лежит в диапазоне от 2 до 15 мкм.

### Библиографический список

1. **Furukawa T., Kato S., Yoshida E.** Compatibility of FBR materials with sodium // Journal of Nuclear Materials. 2009. V. 392. P. 249–254.
2. **Weeks J.R., Isaacs H.S.** Proceeding of the Chemical aspects of corrosion and mass transfer in liquid sodium. New York: Plenum Press, 1973. p. 1-61.
3. **Behavior** in Liquid Metal Fast Breeder Reactors (LMFBRs). IAEA-TECDOC-687, 1993. 155 p.

*Д.А. Мусаева, асп.; рук. В.К. Ильин, д.т.н., проф.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ПУЛЬСАЦИЙ СИЛЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВРЕМЯ ЗАТУХАНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ВИХРЕЙ В МЕТАЛЛЕ В ТИГЛЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

В качестве возможного практического применения вынужденного нестационарного воздействия ( $f_{puls} = [0; 1]$  Гц,  $\Psi = [0; 0,25]$ ) с целью интенсификации теплообмена, рассматриваются результаты моделирования течения расплава металла в тигле индукционной печи под воздей-

ствием низкочастотного импульсного воздействия силы электромагнитного (ЭМ) поля. Рассматривается математическое моделирование стационарного и импульсного воздействия на металл, выбор модели турбулентности и проверка адекватности модели.

На данный момент мировой тенденцией является исследование влияния пульсирующих магнитных полей, с целью повышения качества затвердевающего металла в процессе кристаллизации, а также изучение нестационарного процесса плавления с периодическим подводом энергии [7, 13].

Данный способ периодического воздействия на материал, во многих случаях, приводит к повышению эффективности протекания процесса в период подведения энергии, а также к эффекту экономии энергоресурсов в связи с временным отсутствием их затрат в период действия сил инерции.

На основании сопоставления картин течения, величин интенсивности турбулентных пульсаций и спектрального распределения турбулентных вихрей сформулированы выводы о влиянии импульсного воздействия силы электромагнитного поля на перемешивание металла. Учитывая связь между интенсивностью турбулентности в жидкости и переносом тепла, сделаны выводы о действии пульсирующей силы магнитного поля на теплообмен в металле.

рассматриваются результаты математического моделирования движения расплава металла Вуда (Bi 50%, Pb 25 %, Sn 12,5%, Cd 12,5%). Для воспроизведения процесса движения расплава металла в тигле индукционной печи в численном эксперименте использовалась физическая модель тигля, наполненного расплавом и индуктора.

Расчёт силы пульсирующего магнитного поля проводился в программном пакете Ansys, для моделирования гидродинамики использовалось приложение Fluent. Расчётная сетка для 3D модели движения жидкости состояла из примерно 1,3 млн. элементов.

В точках, расположенных на плоскостях на различной высоте расчётного объёма (вблизи дна, в середине объёма и на расстоянии  $\frac{3}{4}$  высоты цилиндра) производилось измерение значений величин скорости и давления (рис. 1).

В ходе проведения численного эксперимента возник вопрос о влиянии геометрии тигля и частот пульсаций силы ЭМ поля на продолжительность затухания вихрей в расплаве, с целью определения режима, при котором потоку передается наибольшее количество энергии. Было проведено математическое моделирование затухания вихрей в расплаве (уменьшение количества энергии в потоке) при полном отсутствии

подвода энергии после 60 секунд воздействия стационарной и пульсирующей силы ЭМ поля.

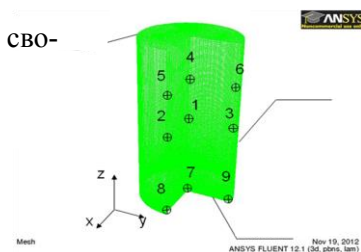


Рис. 1. Трёхмерная модель для расчёта движения расплава в тигле, граничные условия на поверхностях, задаваемые при моделировании, точки измерения параметров

Продолжительность воздействия внешней силы в 60 секунд обусловлено время установления стационарного (в случае постоянной силы ЭМ поля) или квазистационарного (при импульсной подаче силы) течения.

Уменьшение количества движения в расплаве фиксировалось посредством измерения интегрированной по объёму скорости потока. На рис.2 представлено сравнение изменения интегральной скорости во времени для стационарного и нестационарного случая.

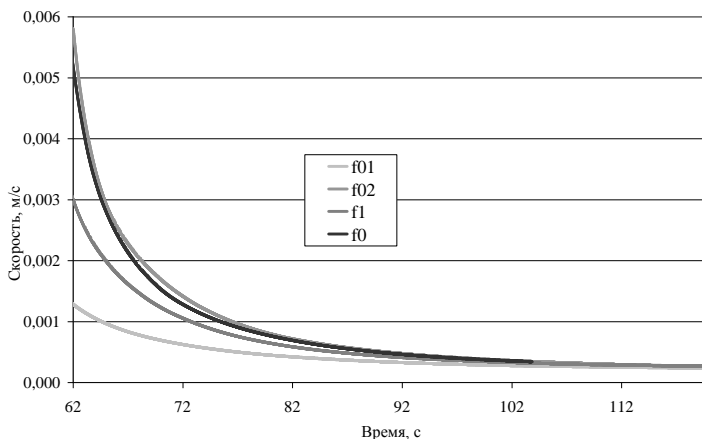


Рис. 2. Понижение интегрированной по объёму тигля скорости потока в следствие процесса затухания турбулентных вихрей

Из рис.2 видно, что для данной геометрии тигля индукционной печи частота пульсаций силы ЭМ поля не оказывает влияние на длительность процесса затухания вихрей в расплаве. Однако можно заметить, что при подводе импульсной силы ЭМ поля с частотой  $f_{puls} = 0.2$  Гц поток обладает количеством движения близким к количеству движения стационарного потока ( $f_0$ ), при этом за счёт импульсного подвода внешней энергии предполагается присутствие эффекта энергосбережения, вследствие наличия работы сил инерции.

В дальнейшем планируется проведение численного эксперимента по затуханию турбулентных вихрей при изменении геометрии тигля и определении влияния его диаметра и вихрей, характерный масштаб которых определяется геометрией, содержащей расплав.

#### Библиографический список

1. Inaba, T., Kubo, T. Enhanced heat transfer through oscillatory flow // J. Heat Transfer □ Japanese Research. 1993. Vol.22. № 5. P. 480-92.

2. Olayiwola B.O., Walzel P. Flow pulsation and modified duct surface for process heat transfer intensification // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2007. Vol.5. P. 10.

*И.А. Тараканов, асп.; рук. М.Б. Марков д.ф.-м.н.  
(ИИМ им. Келдыша РАН, г. Москва)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Уже больше полувека назад перед учёными встал вопрос о воздействии ионизирующего излучения на штатное функционирование полупроводниковых приборов. Этому способствовали расширение деятельности человека в области космоса, военной сфере, а также в сфере "мирного атома". Актуальность задачи радиационной стойкости микроэлектронных приборов растёт, в связи с необходимостью увеличения объёма выпуска и областей применения приборов, а также с уменьшением размеров активных областей (наноэлектроника) и постоянным усложнением конструкций приборов. Без микроэлектронных устройств невозможно представить себе современную атомную станцию. А их нормальное функционирование - залог безопасности, как персонала АЭС, так и всего человечества в целом.

Вопросам радиационной безопасности АЭС уделено большое внимание. Хотя уровень гамма-излучения в активной зоне реактора очень высоки, но он значительно снижается после первичной защиты и ещё



более - после вторичной защиты. Воздействие на контрольно-измерительную аппаратуру и системы управления при нормальном функционировании реактора очень малы и не оказывают влияния на их работоспособность. В то же время на АЭС всегда существует вероятность разрыва трубопровода с теплоносителем первого или второго контура[1]. Так возможно воздействие излучения от радиоактивного теплоносителя в помещениях, где расположены системы слежения, пожаротушения, управления технологическими задвижками и другой техникой.

Исследуется вклад радиации от различных источников в собственную проводимость кремния и диоксида кремния. Структура Si/SiO<sub>2</sub> является одним из основных элементов современных интегральных схем. Главным свойством структуры Si/SiO<sub>2</sub> относительно радиационной стойкости является накопления зарядов в диэлектрике и на границе раздела полупроводник-диэлектрик при облучении.

В этой работе рассматривается моделирование радиационной проводимости различными методами, также рассмотрены уравнения движения при моделировании методом частиц. Ещё рассматриваются особенности рассеяния электронов проводимости и дырок необходимые для моделирования. Электроны проводимости будем называть те электроны, энергия которых находится в пределах первой зоны Бриллюэлла.

Наиболее распространённой моделью радиационной проводимости считается модель Роуза-Фаулера-Вайсберга. Она базируется на физических идеях и математическом аппарате зонной теории фотопроводимости кристаллических полупроводников и диэлектриков, предложенной Роузом ещё в 1953 году[2]. Согласно модели РФВ ионизирующее излучение создаёт пары свободных зарядов (то есть зарядов, движущихся под действием только внешнего электрического поля), из которых подвижными являются только электроны. Физическая картина радиационной электропроводности согласно этой модели является значительно упрощённой, поскольку она не учитывает пространственную неоднородность источника, процессы электрон-фонноной релаксации, а отсутствие самосогласованного поля относительно радиационно-индуцированных зарядов.

Модель описанная выше является лишь грубым приближением кинетического уравнения.

По определению радиационная электропроводность:

$$\sigma_r(t) = e\mu_0 n(t)$$

Где  $N_0(t)$  – концентрация электронов в проводящем состоянии с микроскопической подвижностью  $\mu_0$  (то есть фактически в зоне проводимости).

Все интересующие нас характеристики получаются как моменты функции распределения, зависящей от времени, координаты и импульса.

Например

$$\int f(t, \mathbf{r}, \mathbf{p}) d\mathbf{p} = n$$

Кинетическое уравнение на эволюцию функции распределения:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \text{div}(\mathbf{v} \cdot f) + e \cdot \text{div}_p(\mathbf{E} \cdot f) + \sigma' \cdot |\mathbf{v}| \cdot f - \int \sigma(p, p') \cdot f(p) dp' = Q(\mathbf{r}, t, \mathbf{p})$$

где первое слагаемое описывает эволюцию функции распределения во времени, второе слагаемое описывает перенос электронов, третье – перенос в импульсном пространстве под действием силы Лоренца, а последние слагаемые в левой части описывают мгновенный приход и уход из данного состояния. В правой части стоит источник электронов проводимости и дырок.

Решая это уравнение в различных приближениях, мы можем вычислить зависимость концентрации рождённых электронов и дырок от времени и пространственных координат, а, следовательно, и радиационную проводимость. Из этого кинетического уравнения следуют так называемые уравнения движения, которые связывают координаты, импульсы и энергию частиц[3].

Можно записать уравнения в приближении непрерывного торможения:

$$\text{Для импульса: } \frac{d\bar{p}}{dt} = e \cdot \bar{E} - \frac{[\bar{b} \times \bar{p}]}{\tau_{tr}(\varepsilon)} - \frac{\langle hw \rangle_{opt}}{\tau_0(\varepsilon) \cdot |\bar{v}_g|} \frac{\bar{v}_g}{|\bar{v}_g|} - \frac{E_g}{\tau_{im}(\varepsilon) \cdot |\bar{v}_g|} \frac{\bar{v}_g}{|\bar{v}_g|}$$

$$\text{Уравнение для энергии: } \frac{d\varepsilon}{dt} = e \cdot \bar{E} \cdot \bar{v}_g - \frac{\langle hw \rangle_{opt}}{\tau_0(\varepsilon)} - \frac{E_g}{\tau_{im}(\varepsilon)}$$

$$\text{Уравнения для координаты: } \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{v}, \quad \bar{v}_{dr} = \frac{\bar{p}}{m_{eff}}$$

В этих  $\bar{v}_g$  – групповая скорость носителей заряда и  $E_g$  – ширина запрещённой зоны. Величины  $\tau_{tr}$ ,  $\tau_0$  и  $\tau_{im}$  называются временами релаксации.  $\tau_{tr}$  – транспортное время релаксации, связанное с теми процессами, которые меняют импульс частицы,  $\tau_0$  – время релаксации энер-

гии, связанное только с теми особенностями при рассеянии на которых частица теряет энергию и  $\tau_{im}$  - время релаксации на процессе ударной ионизации[4].

В таблице 1 представлены процессы рассеяния в Si и SiO<sub>2</sub>. (LO - оптические продольные фононы, TO - оптические поперечные фононы)

**Таблица 1. Процессы рассеяния**

| SiO <sub>2</sub>     | Si электроны             | Si дырки            |
|----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 ветвь LO эмиссия   | TO эмиссия               | TO эмиссия          |
| 1 ветвь LO адсорбция | TO адсорбция             | TO адсорбция        |
| 2 ветвь LO эмиссия   | TO междолинное эмиссия   | Акустические фононы |
| 2 ветвь LO адсорбция | TO междолинное адсорбция | Примеси             |
| TO эмиссия           | Акустические фононы      |                     |
| TO адсорбция         | Примеси                  |                     |
| Акустические фононы  |                          |                     |

Тогда транспортные времена рассеяния и времена потерь энергии определяются как:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{ac}} + \frac{1}{\tau_{loe}} + \frac{1}{\tau_{toa}} + \frac{1}{\tau_{lo1e1}} + \frac{1}{\tau_{lo1a1}} + \frac{1}{\tau_{lo2e1}} + \frac{1}{\tau_{lo2a1}}$$

транспортная частота рассеяния (SiO<sub>2</sub>)

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{loe}} + \frac{1}{\tau_{toa}} \quad \text{- частота потерь энергии (Si-дырки)}$$

Собственная подвижность определяется транспортным временем релаксации [5]

$$\mu = \frac{\sum_i \frac{e \cdot \tau_i \cdot \varepsilon_i \cdot g_i \cdot f_i}{m}}{\sum_i g_i \cdot f_i \cdot \varepsilon_i}$$

При вычислении с использованием времён релаксации были получены следующие результаты, вполне совпадающие с экспериментальными результатами.

$\mu = 1513 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$  - подвижность электронов в кремнии (1500 - эксперимент)

$\mu = 492 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$  - подвижность дырок в кремнии (500 – эксперимент)

$\mu = 47.2 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$  - подвижность электронов в диоксиде кремния

(20 – эксперимент)

Зная подвижности носителей заряда, времена релаксации и написав уравнения движения и приближения для решения кинетического уравнения Больцмана, можно создать математическую модель радиационной проводимости совместимую с другими, например с моделью самоогласованного поля с помощью решения уравнений Максвелла.

При создании дополнительно к этому программы по созданию моделей сложных геометрических объектов, получившийся программный комплекс позволяет исследовать влияние проникающей радиации на электронные компоненты, как при штатном функционировании АЭС, так и при нестандартных ситуациях.

#### Библиографический список

1. **Таперо К.И.**, Улимов В.Н., Членов А.М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения БИНОМ, 2012
2. **Диэлектрические** свойства полимеров в полях ионизирующих излучений/ А.П. Тютнев, В.С. Саенко, Е.Д. Пожидаев, Н.С. Костюков. - М.: Наука, 2005.
3. **Хокни Р.**, Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц Мир, 1987
4. **E. Cartier, M. V. Fischetti, E. A. Eklund, F. R. McFeely** Appl. Phys. Lett. 62, 3339 (1993)
5. **Ансельм А.И.** Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978

*А.А. Воронков, К.В. Пешненко, студенты;  
рук. М.В. Дмитриев, к.т.н., доц.; Е.В. Журавлев, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

### ЛАБОРАТОРНЫЙ ТЕНЗОДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ДАВЛЕНИЙ

Малые изменения давления газа измеряют U-образными жидкостными манометрами. Их часто применяют в лабораторном практикуме по молекулярной физике в вузах. Ими, однако, нельзя производить измерения при быстропротекающих процессах из-за большой инертности манометрической жидкости. Этому недостатка лишены тензометрические датчики, практически мгновенно реагирующие на изменение давления. В данной работе рассматривается конструкция тензометрического датчика для измерения малых давлений.

Тензорезисторы используются для измерения деформации в твердых телах и на их основе строят датчики давления. Принцип действия тензорезистора основан на изменении электрического сопротивления твердого тела при его деформации под воздействием приложенной силы. Конструктивно тензодатчик состоит из тонкого провода, нане-

сенного на подложку (носитель), которая непосредственно приклеивается к испытываемому телу.

Преобразователь давления газа в силу выполняется в виде пустотелого цилиндра с тонкой цилиндрической стенкой, газ в цилиндр поступает через штуцер в торце цилиндра. Изменение давления внутри вызывает изменение силы растяжения цилиндрической стенки. На цилиндр наматываются четыре обмотки (катушки) из тонкой изолированной проволоки симметрично относительно середины цилиндра. Число витков у катушек одинаково и их электрические сопротивления также одинаковы. Крайние две обмотки, намотанные на тонкие каркасы, располагаются у торцов цилиндра, и могут свободно перемещаться вдоль цилиндра в небольших пределах. Вследствие отсутствия прочного механического контакта с цилиндром на эти катушки не действует сила растяжения, возникающая в цилиндрической стенке, и их электрическое сопротивление остается неизменным. Две внутренние обмотки приклеены к цилиндрической поверхности, и их сопротивления линейно изменяются с изменением силы растяжения цилиндрической стенки. Все четыре обмотки включены в схему электрического моста.

Подгонка сопротивлений катушек к одной величине производится следующим образом: Оба конца одной из средних катушек подпаиваются к монтажной планке, и ее сопротивление берется за основу. У всех других катушек после намотки один конец подпаивается к монтажной планке, а другой конец, избыточный по длине, постепенно укорачивается, пока сопротивление катушки не сравняется с основным сопротивлением.

Измерения могут производиться как на постоянном токе, так и на переменном, последнее предпочтительнее, так как организовать усиление малой разности потенциалов, возникающей в диагонали моста, проще на переменном токе. Чтобы избавиться от влияния внешних наводок, намотка катушек осуществляется в два провода виток к витку. Начальные концы проволок спаиваются, а конечные выводятся в схему (бифилярная намотка). Индуктивность катушек практически равна нулю и равны нулю наводимые эдс.

Влияние температуры устраняется полностью в силу того, что обмотки выполнены одним и тем же проводом и располагаются на одном и том же цилиндре, температура которого одинакова по всей его поверхности. Токи, протекающие в плечах моста одинаковы и нагрев ими проводов хотя и небольшой, но также одинаков, и температура их остается одинаковой.

Размеры и материал цилиндра выбирается из условия, чтобы в заданном диапазоне изменения давления датчик обеспечивал надежное

измерение этой величины. Чувствительность датчика увеличивается с увеличением диаметра цилиндра, и выбор его величины зависит от конструкции установки, в которой датчик используется. Толщина цилиндрической стенки выбирается такой малой, чтобы только сохранялась цилиндрическая форма в процессе намотки катушек, у цилиндров из металла она составляет десятые доли миллиметра, у пластмассовых цилиндров до одного миллиметра. Во избежание повреждений от случайных механических воздействий цилиндр помещается в защитный кожух.

Для экспериментального датчика выбран алюминиевый цилиндр диаметром 66 и длиной 140 миллиметров с толщиной цилиндрической стенки 0,3 миллиметра. Катушки намотаны изолированным медным проводом диаметром 0,1 миллиметра, Длина провода каждой обмотки 50 метров, сопротивление 100 Ом при комнатной температуре.

*Е.С. Егорова, студ.; рук. О.А. Кабанов, к.ф.-м.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АПРОКСИМАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ МОДЕЛЬЮ АБСОЛЮТНО ЧЁРНОГО ТЕЛА**

Согласно закону Стефана – Больцмана, энергетическая светимость абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры:

$$R = \sigma T^4 .(1)$$

Примем некоторые допущения:

- нить лампы накаливания является абсолютно чёрным телом;
- вся мощность электрического тока, или какая-то постоянная её часть, преобразуется в излучение,  $R \sim IU$  ;
- сопротивление нити лампы накаливания пропорционально температуре,  $\frac{U}{I} \sim T$  .

В работе были сняты вольтамперные характеристики ламп накаливания различной номинальной мощности (25Вт, 40Вт, 60Вт, 100Вт) в диапазоне напряжений от 100В до 190В.

Построены графики зависимости логарифма мощности тока от логарифма сопротивления, нормированные на значения мощности и сопротивления при напряжении 100В (рис. 1). Определены значения тан-

генса угла наклона прямых, аппроксимирующих экспериментальные данные по методу наименьших квадратов. Их зависимость от номинальной мощности ламп представлена на рис. 2.

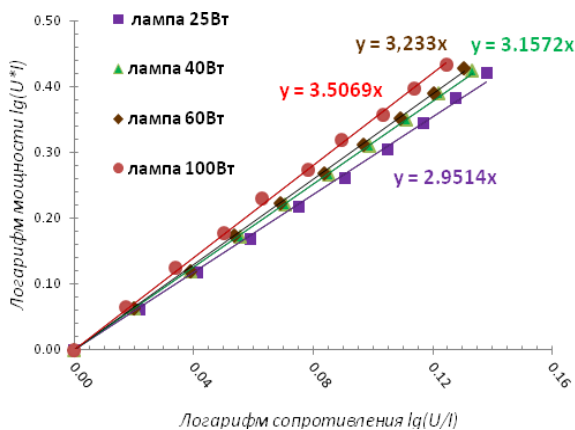


Рис.1. Зависимость логарифма мощности от логарифма сопротивления, нормированные на значения мощности и сопротивления при напряжении 100В

Зависимость логарифма мощности тока от логарифма сопротивления (рис. 1) с высокой степенью точности аппроксимируется линейной зависимостью. Это подтверждает, что энергетическая светимость представляет собой степенную зависимость от абсолютной температуры.

С ростом номинальной мощности лампы наблюдается рост показателя степени (рис. 2). Прямая линия на графике проведена произвольно, чтобы выделить тенденцию.

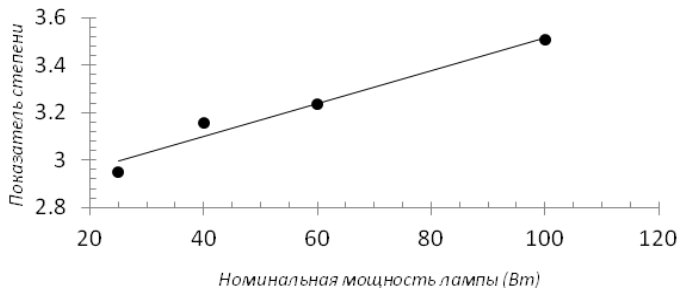


Рис. 2. График зависимости показателя степени от мощности лампы

Предполагаемая причина такой зависимости связана с геометрическими характеристиками нити лампы накаливания, а именно с отношением поверхности излучающего тела и его объёма.

*А.В. Дмуховская, В.А. Малков, М.С. Фадеева, студенты;  
рук. Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОСТЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА RADIA**

Одной из задач магнитостатики является расчёт магнитных полей от разных источников. К наиболее распространённым источникам постоянного магнитного поля относятся системы проводников с токами и постоянные магниты. В роли простых объектов выступают однородно намагниченный шар, эллипсоид, плоскость, параллелепипед. К точно аналитически решаемым задачам в магнитостатике относятся: однородно намагниченные эллипсоид (его предельные случаи: шар, бесконечный цилиндр, плоскость) и параллелепипед.

Целью нашей работы являлось исследование и сравнение магнитного поля постоянного магнита в форме прямоугольного бруска аналитическим и численным методами с применением программного пакета Radia в системе Wolfram Mathematica 9. Одним из возможных расчетов в случае поля однородно намагниченного прямоугольного параллелепипеда является решение с помощью модели магнитных зарядов [1]. Модель магнитных зарядов позволяет использовать аналогию с электростатическим полем электрических зарядов [2]. В задаче о параллелепипеде, однородно намагниченном вдоль оси  $Z$ , применение метода равносильно подсчету напряженности поля, создаваемого двумя разноименно заряженными с плотностью  $\sigma$  плоскостями (рис. 1).

Магнитное поле создается парой разноименно заряженных пластин. Поле такой системы, создаваемое в произвольной точке, аналитически рассчитано в работе [1].

В данной работе исследовалось магнитное поле, создаваемое однородно намагниченным вдоль некоторой из своих граней прямоугольным параллелепипедом. Для теоретического исследования магнитного поля был выбран образец размерами  $28 \times 35 \times 12$  мм, имеющий магнит-



ное поле с индукцией 1,32 Тл (рис.2). Намагниченность образца считается однородной и направленной по оси Z.

Были получены значения для разных проекций вектора индукции магнитного поля по граням образца на разных расстояниях от граней.

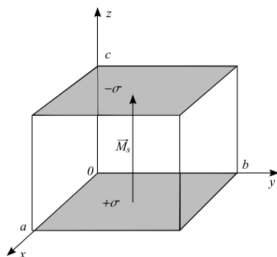


Рис. 1.

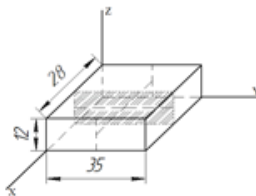


Рис. 2.

$\vec{M}_S$  - намагниченность насыщения

Оба метода дали совпадение результатов с большой точностью для всех проекций магнитного поля в разных областях. Однако при переходе к малым расстояниям явно видно предпочтение аналитического метода (рис.3). Полученные данные помогают визуализировать распределение магнитного поля в пространстве.

В ходе работы было получено хорошее соответствие моделей, что говорит о достоверности расчётов магнитного поля обоими методами. Применение полученных результатов возможно в учебном процессе, в разработках связанных с определением магнитных полей, различных тел.

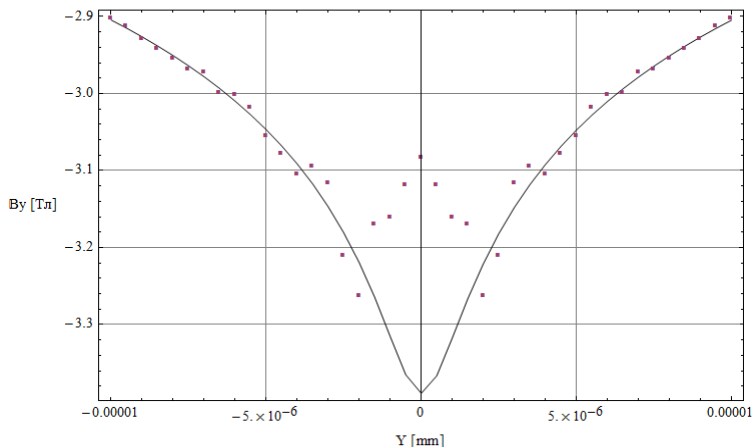


Рис. 3. Расчет компоненты поля  $B_y$  от расстояния по оси Y для параллелепипеда разме-

рами  $28 \times 35 \times 12$  мм и намагниченностью  $1,32 \cdot 10^4$  А/м, высота над гранью по оси Z 1 мм. Точками приведен график, рассчитанный аналитически, сплошной линией – расчет программного пакета Radia.

#### Библиографический список

1. Вагин Д.В., Герасименко Т.Н., Поляков П.А. Точное аналитическое выражение для индукции магнитного поля образца прямоугольной формы. // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2008. – № 6. – С. 54-56.

2. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.

*П.Н. Окулова, студ., И.М. Соловьев, студ.;  
рук. Н.В. Прохорова, асс., Г.А. Шмелева, к.п.н., доц.  
(ИГЭУ, г.Иваново)*

### **ДЕМОНСТРАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ТЕСЛА В ОБЩЕМ КУРСЕ ФИЗИКИ**

Одним из основных принципов обучения является наглядное представление изучаемых явлений. Особенно актуальна демонстрация физических законов на действующих установках. Такой подход имеет положительные стороны: с одной - интересно и образно показывает процессы, которые на математическом языке выглядят сухо, сложно и непонятно, а с другой – привлекает студентов младших курсов к занятиям научной практической работой, дает им мотивацию придумывать и воплощать в жизнь новые идеи.

Одним из ярких практических опытов является демонстрация работы трансформатора Николы Тесла в общем курсе физики. Нами была выполнена такая работа в рамках кружка по физике. Студентами была построена действующая модель трансформатора.

Резонансный трансформатор Тесла представляет собой классический трансформатор, генерирующий высокое напряжение высокой частоты. Установка состоит из первичной и вторичной обмоток, и блока питания (рис.1).

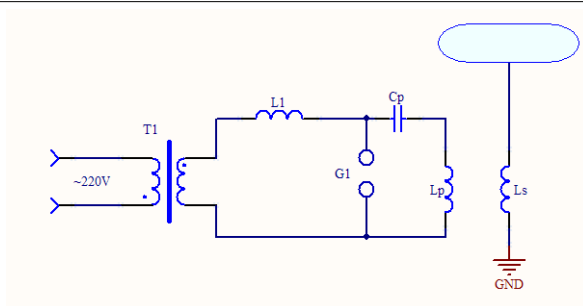


Рис 1. Принципиальная схема трансформатора Тесла

К первичной обмотке подводится переменное напряжение, и она создает магнитное поле. Вторичная обмотка вместе с собственной паразитной емкостью (тороид – земля) образует колебательный контур, который накапливает излучаемую первичной обмоткой энергию. Когда энергия во вторичном контуре достигает максимального значения, происходит пробой воздуха, и мы можем наблюдать электрический разряд. С одной стороны, установка является предельно простой, поскольку схема включает в себя минимальное количество компонентов, а с другой – довольно опасной, требующей предельного внимания и соблюдения техники безопасности.

При работе трансформатора наблюдались такие явления, как коронный и искровой разряды, генерация высокочастотного электромагнитного поля. Данные явления широко применяются на практике.

В рамках подобной практической работы будущие инженеры, имеющие желание заниматься практической физикой, имеют возможность реализовать свои идеи и проекты, вживую увидеть и почувствовать интересующие их явления. Создание реальных экспериментальных установок дает стимул к развитию материально-технической базы кафедры физики.

*Д.А. Учеваткин, студ.;*  
*рук. Е.Г. Розин, к.ф.-м.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г.Иваново)*

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА С ОДНОРОДНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ

Проведен аналитический расчет напряженности магнитного поля на оси усеченного однородно намагниченного конуса на основе электростатической аналогии. Напряженность магнитного поля достигает максимума на некотором расстоянии от конуса, зависящем от соотношения радиусов оснований и высоты конуса.

Также рассчитано магнитное поле конуса с использованием оболочки Mathcad. Результаты численного расчета находятся в хорошем согласии с полученными аналитическими выражениями.

Аналитический расчет проводился методом разделения усеченного равномерно заряженного конуса на бесконечно тонкие диски, а диски в свою очередь разделялись на узкие кольца.

Использовался принцип суперпозиции для вычисления потенциала электрического поля конуса, вычислялось напряженность поля из формулы связи напряженности и потенциала поля. Методом электростатической аналогии получены выражения для напряженности магнитного поля конуса.

#### Библиографический список

1. **Тамм И.Е.** Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.

*Д.Е. Дрязгов, Д.Д. Кузнецова, З.С. Лебедев, студенты;  
рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИ ПОДКЛЮЧАЕМОЙ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРАКТИКУМА ПО ФИЗИКЕ**

Вычислительный эксперимент является одним из современных методов исследования физических явлений. Несмотря на то, что вычислительный эксперимент идеализирует постановку задачи, он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами изучения физических систем. Современный персональный компьютер позволяет за несколько секунд решить сложную систему уравнений, построить график изучаемой зависимости, промоделировать трудновоспроизводимый эксперимент. Очевидно, что студенты высших учебных заведений должны иметь представления о компьютерных моделях, численных методах изучения различных объектов физики, достаточно свободно ориентироваться в современных программных продуктах.

Современные информационные технологии позволяют преобразовать не только решение задач на семинарских занятиях в вузе. Кардинально можно изменить и чтение лекций. На лекции теперь представляется возможным, во-первых, показать реальный физический опыт (колебание связанных маятников, например), потом показать на большом экране замедлено или, наоборот, ускорено соответствующий

фильм так, чтобы детали движения были всем студентам ясно видны, а затем показать анимацию этого движения и рассказать, как она создавалась, какие в нее заложены физические законы, допущения и ограничения.

В частности, в настоящее время ведется разработка программного комплекса для решения типовых задач по физике. Данный комплекс включает в себя рабочую книгу Excel или MathCad, в которой может быть создан формуляр отчета по исследованиям, выполненным в режиме вычислительного эксперимента. Электронные таблицы Excel предоставляют для этого удобный пользовательский интерфейс, позволяющий написать условия задачи, обеспечить ввод исходных данных, отобразить ход решения, осуществить серию вычислительных экспериментов с решением данной задачи при различных исходных данных, а также обрабатывать результаты данной серии в виде диаграмм и графиков. Аналогичный функционал предоставляет и математический пакет MathCad.

Немаловажным фактом является наличие в Excel встроенной системы программирования на языке Visual Basic for Excel. Это позволяет не только запрограммировать сложные функции обработки результатов, но и обратиться к внешним процедурам и функциям, входящим в состав внешних динамически подключаемых библиотек. С помощью данных библиотек можно реализовать функционал, не предусмотренный в Excel (то же самое можно реализовать и с помощью MathCad). Например, это может быть функционал, позволяющий анимировать отдельные фазы прохождения какого-либо физического эксперимента. Именно разработке данного функционала посвящена данная статья.

В качестве примера реализации библиотеки анимации физических эффектов была разработана библиотека для виртуального практикума по механике, являющейся базовой частью общего курса физики. Функционал библиотеки включает в себя решение трех типовых задач:

### ***1. Движение материальной точки в поле гравитации***

Условие задачи: тело брошено под заданным углом к горизонту с заданной начальной скоростью с заданной начальной высоты. Силой сопротивления воздуха пренебречь.

Рассчитать:

Рассчитать:

- 1) траекторию полета;
- 2) дальность полета;
- 3) время полета;
- 4) проекции скорости и ускорения на оси координат в любой момент времени;

5) радиус кривизны траектории в любой момент времени.

Решение задачи осуществляется в цикле для различных моментов времени. Библиотека анимации физических эффектов отображает эти фазы в виде траектории полета (рис. 1). Для каждого промежуточного момента времени строятся вектора составляющих скорости и ускорения тела. В вызывающую программу библиотека выдает все рассчитанные промежуточные величины, которые можно изобразить в форме графиков в вызывающей программе (рис. 2).

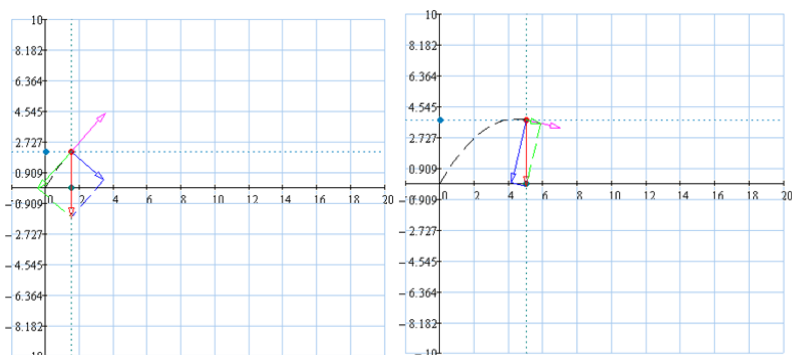


Рис. 1. Фазы полета тела в поле гравитации

## 2. Законы сохранения и колебательное движение

Условие задачи. Из точки с заданными координатами из ствола ружья вылетает пуля с заданной массой, заданной скоростью под заданным углом к горизонту. Пуля попадает в подвижный стержень с заданной массой и длиной, подвешенный в верхней точке, с заданными координатами и застревает в стержне. На стержне расположены два массивных шарообразных тела с заданными массами, расположенными на заданных расстояниях от точки подвеса. Колебания маятника затухают, так как на оси маятника действует заданный момент трения. Пренебречь действием силы гравитации на траекторию полета пули.

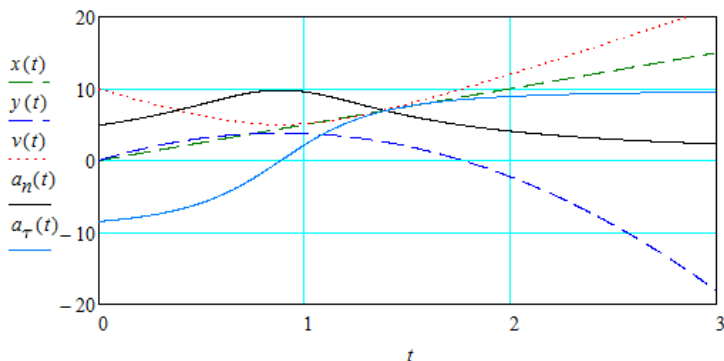


Рис. 2. Графики изменения во времени координат, скорости и составляющих ускорения тела

Рассчитать:

- 1) точку попадания пули в стержень;
- 2) начальную угловую скорость вращения стержня;
- 3) закон изменения угла поворота маятника от времени;
- 4) проекции скорости и ускорения на оси координат в любой момент времени.

Результаты анимации процесса, реализованного с помощью разработанной библиотеки, представлены на рис. 3. Для каждого промежуточного момента времени строятся вектора составляющих скорости и ускорения тела. На рис. 4 приведены графики изменения во времени вызывающей программе (рис. 2).

### 3. Движение связанных тел по наклонной плоскости

Условие задачи. На наклонной (или горизонтальной плоскости) находится тело характерной формы (параллелепипед, шар, цилиндр) с заданной массой. К нему прикреплена нить, переброшенная через массивный или невесомый блок. К другому концу нити подвешен второй груз с заданной массой. Задан коэффициент трения тела о поверхность.

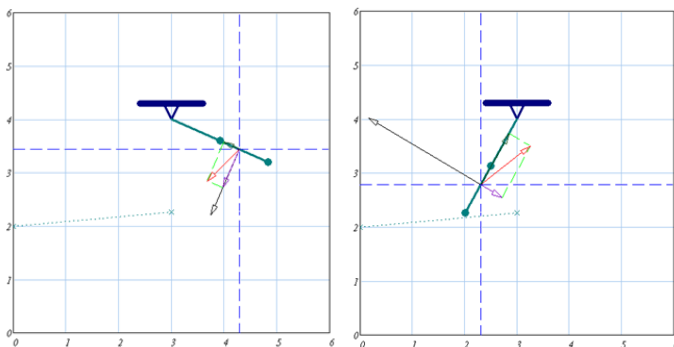


Рис. 3. Фазы движения маятника

Рассчитать:

- 1) проекции скорости и ускорения на оси координат в любой момент времени;
- 2) потенциальную и кинетическую энергию обоих тел в любой момент времени.

Данная задача находится в стадии разработки.

Следует отметить, что библиотека анимации физических процессов разрабатывается в среде Visual Studio на языке C# с использованием технологии WPF.

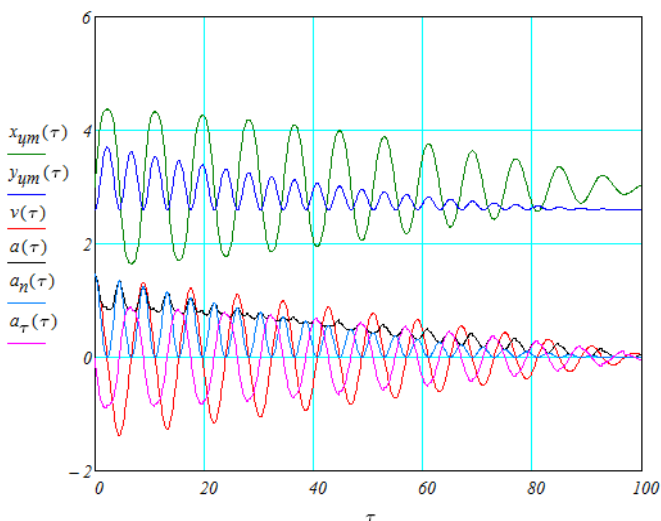


Рис. 4. Графики изменения во времени координат, скорости и составляющих ускорения центра тяжести маятника



Технология WPF (Windows Presentation Foundation) предназначена для построения клиентских приложений Windows с визуально привлекательными возможностями взаимодействия с пользователем и является графической (презентационной) подсистемой в составе .NET Framework. В основе WPF лежит векторная система визуализации, не зависящая от разрешения устройства вывода и созданная с учётом возможностей современного графического оборудования. Система предоставляет богатые возможности по созданию различных приложений мультимедиа, двухмерной и трехмерной графики, набор встроенных элементов управления, а также возможность самим создавать новые элементы, анимации, стили, шаблоны, темы и многое другое. Все это позволяет создать визуально привлекательные приложения. А так как приложение создается в форме динамически подключаемой библиотеки, то данные приложения можно внедрять в качестве расширений в любые открытые пакеты, например, математические процессы.

В дальнейшем планируется создание виртуальной лаборатории по всем частям курса физики, способной существенно повысить уровень понимания материала студентами.

*Д.М. Севрюгов, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н. проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Современные численные расчеты электрического поля основаны, главным образом, на методах конечных разностей и конечных элементов. Практически во всех современных системах инженерных расчетов (САЕ-системах) для моделирования электромагнитных полей используется метод конечных элементов. К числу недостатков данного метода можно отнести сложность модификации математического аппарата при расширении класса решаемых задач.

В то же время известно, что практически любому интегральному закону природы можно дать вероятностную интерпретацию. В частности, любое физическое поле можно описать с помощью математического аппарата статистической физики. Это позволяет использовать для моделирования физических полей метод Монте-Карло.

Теоретической основой статистических методов моделирования являются предельные теоремы вероятностей (Чебышева, Бернулли, Пуассона [1]). Эти теоремы гарантируют высокое качество статисти-

ческих оценок состояния системы при большом количестве опытов. При этом методы статистики оказываются применимыми для исследования как детерминированных, так и стохастических систем, что позволяет без принципиальных усложнений моделей распространить их на нестационарные режимы [2].

Как отмечается в [3], в науке существует некоторое предубеждение против метода Монте-Карло, вызванная невозможностью дать гарантированную оценку погрешности. Однако, здесь же показано, что уже при вычислении однократных интегралов достижение точности любого аналитического метода требует высокой математической квалификации исследователя и затрат его умственного труда. То есть ориентировка на вычисления с гарантированной погрешностью противоречит общей тенденции использования ЭВМ, согласно которой роль интеллекта человека в достижении результата компьютерного моделирования должна снижаться. Кроме того, при решении всякой задачи, особенно если она строится на сложном математическом аппарате, возможны ошибки в постановке задачи, в программе и т.д. В силу этих и ряда других причин практически невозможно дать стопроцентную гарантию малости погрешности результата моделирования. Невозможно создать сложную компьютерную систему, абсолютно лишенную ошибок. Грубые ошибки выявляются на стадии отладки. Но практически невозможно выловить все ошибки, которые лишь незначительно искажают результат моделирования.

Если учесть также успехи в развитии многопроцессорной техники, становится очевидным, что метод Монте-Карло для решения задач моделирования поля является перспективным. Ниже рассмотрена версия метода Монте-Карло для моделирования электрического поля потоком расчетных частиц.

Частицы вылетают из точечных источников поля в направлениях, задаваемых генератором случайных чисел и, сохраняя однажды заданное направление, летят до конца расчетной области с постоянной скоростью  $v$ , одинаковой по абсолютной величине для всех частиц. Если заданы области с объемной плотностью заряда (плотностью тока), то частицы вылетают из точек, которые выбираются случайным образом в пределах данных элементарных подобластей модели  $dV'$  (здесь и далее одноименные величины со штрихами и без штрихов характеризуют соответственно модель и оригинал). При простоте математического аппарата данной задачи на современных персональных компьютерах можно организовать поток, состоящий из миллионов частиц.

Если в некотором элементарном объеме модели  $dV'$  находится  $dN$  частиц, каждая из которых обладает массой  $M_i$  и движется со скоростью  $\vec{v}_i$ , то центр тяжести данной системы частиц массой

$$dM_c = \sum_{i=1}^{dN} (M_i) \quad (1)$$

обладает импульсом

$$d\vec{p}_c = \sum_{i=1}^{dN} (M_i \vec{v}_i) = \vec{v}_c dM_c = \vec{v}_c \sum_{i=1}^{dN} (M_i), \quad (2)$$

где

$$\vec{v}_c = \frac{d\vec{p}_c}{dM_c} = \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i \vec{v}_i)}{\sum_{i=1}^{dN} (M_i)} \quad (3)$$

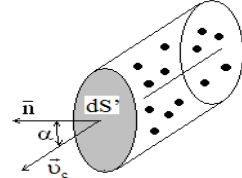


Рис. 1. Определение потока частиц через площадку  $dS'$

– скорость движения центра масс частиц, заполняющих элементарный объем  $dV'$ .

Выделим в пространстве модели площадку  $dS'$  (рис. 1). Будем считать, что все частицы в данной области пространства модели  $dV'$  движутся упорядоченно с одинаковыми скоростями  $\vec{v}_c$ . Если объем  $dV'$  строится на основании площадки  $dS'$  с помощью образующей, параллельной вектору  $\vec{v}_c$ , длина которой равна  $v_c dt$ , то все  $dN$  частиц, попадающие в этот объем, пройдут через площадку  $dS'$  за время  $dt$ . При этом поток частиц через площадку  $dS'$  равен

$$\begin{aligned} d\Phi' &= \frac{1}{dt} \sum_{i=1}^{dN} (M_i) = \frac{1}{dt} \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i)}{dV'} dV' = \rho' \frac{dV'}{dt} = \\ &= \rho' \frac{v_c dt \cdot dS' \cdot \cos \alpha}{dt} = \rho' v_c dS' \cdot \cos \alpha = \rho' \vec{v}_c d\vec{S}', \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\rho' = \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i)}{dV'} = \frac{dM_c}{dV'} \quad (5)$$

– плотность частиц в данной элементарной области  $dV'$ .

Интегральное уравнение, описывающее поток частиц, имеет вид

$$\Phi' = \iint_{S'} \rho' \vec{v}_c d\vec{S}' = \int_{V'} \rho' dV' = \dot{M}, \quad (6)$$

или в дифференциальной форме

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho' \vec{v}_c) = \dot{\rho}', \quad (7)$$

где  $\Phi'$  – поток частиц через замкнутую поверхность  $S'$ ;

$$\dot{\rho}' = \frac{d\rho'}{dt} \quad (8)$$

– плотность частиц нарождающихся в данной элементарной области пространства в единицу времени;

$$\dot{M} = \frac{dM_c}{dt} = \int_{V'} \dot{\rho}' dV' \quad (9)$$

– масса частиц, нарождающихся в области модели  $V'$ , окруженной замкнутой поверхностью  $S'$ , в единицу времени.

Отметим, что уравнения (6) и (7) имеют одинаковую форму (изоморфны) с уравнениями электрического поля

$$\Phi = \iiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV = \frac{q}{\epsilon_0}, \quad (10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho. \quad (11)$$

где  $\Phi_E$  – поток вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  через замкнутую поверхность  $S$ ;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\rho$  – объемная плотность заряда;  $V$  – объем, ограниченный поверхностью  $S$ ;  $q$  – электрический заряд, окруженный поверхностью  $S$ .

В соответствии с первой теоремой подобия [4] уравнения для потока частиц становятся тождественными уравнениям электрического поля при выполнении следующих условий подобия:

$$\frac{m_E}{m_p m_L} = 1, \quad \frac{m_E m_L^2}{m_q} = 1, \quad (12)$$

в которые входят масштабы подобия

$$m_q = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{\dot{M} \cdot \epsilon_0}{q} = \frac{dM \cdot \epsilon_0}{dt \cdot q}, \quad m_E = \frac{\rho' \vec{v}_c}{\vec{E}},$$

$$m_L = \frac{L'}{L} = \sqrt{\frac{S'}{S}} = \sqrt[3]{\frac{V'}{V}}, \quad m_p = \frac{\rho' \epsilon_0}{\rho}, \quad (13)$$

где  $L'$  и  $L$  – линейные размеры соответственно модели и оригинала.

Из уравнений (12) можно найти два зависимых масштабных коэффициента при условии, что два других будут независимыми, то есть их значения можно выбрать произвольным образом. Удобнее всего выбрать в качестве независимых масштабы  $m_L$  (это позволит произвольным образом изменять размеры модели по сравнению с оригиналом) и

$m_q$  (это позволит произвольным образом выбирать количество и массу частиц, излучаемых в единицу времени на единицу заряда). Тогда масштабы по напряженности электрического поля  $m_E$  и по плотности заряда  $m_p$  является зависимым и определяется как

$$m_E = \frac{m_q}{m_L^2}, m_p = \frac{m_q}{m_L^3}. \quad (14)$$

Это значит, что, задавая произвольным образом абсолютную скорость движения частиц в модели  $v$ , напряженность в каждой точке поля и все ее составляющие можно определить по величине суммарного импульса частиц в данном элементарном объеме  $dV'$  как

$$\vec{E} = \frac{1}{m_E} \rho' \vec{v}_c = \frac{1}{m_E} \cdot \frac{dM_c}{dV'} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i \vec{v}_i)}{dM_c} = \frac{1}{m_E} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i \vec{v}_i)}{dV'}, \quad (15)$$

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i v_{xi})}{m_E \cdot dV'}, E_y = \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i v_{yi})}{m_E \cdot dV'}, E_z = \frac{\sum_{i=1}^{dN} (M_i v_{zi})}{m_E \cdot dV'}. \quad (16)$$

Имитация присутствия диэлектриков в электростатическом поле осуществляется с использованием подвижных электрических диполей. При этом на область наносится трехмерная сетка с кубическими ячейками объемом  $dV' = dx' \cdot dy' \cdot dz' = R^3$ , где  $R = dx' = dy' = dz'$  – линейный размер элементарной ячейки модели. Если ячейка полностью занята диэлектриком, то она представляется доменом, внутри которого формируется электрический диполь, способный поворачиваться вокруг своего центра. Плечо электрического диполя равно линейному размеру ячейки  $R$ . Диполь ориентируется вдоль линий внешнего к данному домену электрического поля. Величина заряда диполя  $q_0$  определяется по величине вектора поляризованности вещества

$$\vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} (\epsilon - 1). \quad (17)$$

Направление вектора поляризованности совпадает с направлением вектора электрической индукции. По поляризованности, определяем величину наведенного заряда в диполе

$$q_0 = \frac{PdV}{dL} \approx \frac{1}{m_L^2} \frac{PR^3}{R} = \frac{PR^2}{m_L^2}, \quad (18)$$

где  $dL$  – длина силовой линии внешнего поля в пределах домена.

Наведенные заряды в рамках доменов становятся дополнительными источниками частиц. Массу частиц, излученных каждым элементарным зарядом  $q_0$  в единицу времени можно определить как

$$\dot{M}_{q_0} = m_q \frac{q_0}{\varepsilon_0}.$$

Приведенный математический аппарат был реализован в программном коде в среде Delphi. Была решена тестовая задача по расчету электрического поля, создаваемого точечным зарядом при наличии вблизи диэлектрического шара. Данная задача имеет точное аналитическое решение. При реализации алгоритма усреднения результатов в ячейках погрешность расчета методом Монте-Карло зависит от степени дискретизации расчетной области (от величины R), количества частиц и от времени решения задачи (чем больше время решения, тем точнее результат). При количестве частиц порядка 15 млн, точности порядка 5% время решения тестовой задачи составило около 10 мин. При использовании технологии параллельных вычислений CUDA это время может быть сокращено до нескольких секунд.

#### Библиографический список

1. Пугачев В.С. Введение в теорию вероятностей. – М.: Изд-во «Наука», Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1968. – 368 с.
2. Гультяев А.Н. MatLab 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows. – С.-П.: Коронапринт, 1999.
3. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 632 с.
4. Тихонов А.И. Основы теории подобия и моделирования (электрические машины): Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2011. – 132 с.

*А.С. Шмелев, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н. проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА БИО–САВАРА–ЛАПЛАСА**

Магнитное поле является основой функционирования индукционных электротехнических устройств. Поэтому знание точной картины магнитного поля позволяет рассчитать все характеристики проектируемого устройства даже при отсутствии апробированных методик расчета. В настоящее время для расчета магнитного поля используются системы инженерных расчетов, построенные, главным образом, на основе метода конечных элементов. В то же время поиск новых решений в плане моделирования физических полей нельзя считать завер-

шенным. Особенно интересные перспективы возникают в связи с развитием технологий параллельных вычислений, вследствие чего на первый план выдвигаются имитационные методы моделирования физических процессов, которые в отличие от метода конечных элементов распараллеливаются достаточно просто и естественно. В частности, в данной статье рассматривается оригинальный метод, построенный на прямом решении уравнения Био–Савара–Лапласа для трехмерной области, занятой проводниками с током и средами, заданными своими магнитными характеристиками, в том числе нелинейными.

Согласно закону Био–Савара–Лапласа элемент проводника  $d\vec{l}$ , по которому протекает ток  $I$ , создает в пространстве вокруг себя магнитное поле с индукцией

$$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I [d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3}, \quad (1)$$

или

$$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 [\vec{j} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} dV, \quad (2)$$

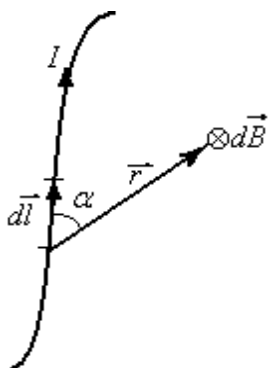


Рис. 1. К закону Био–Савара–Лапласа

где  $\vec{r}$  – радиус-вектор точки наблюдения (рис. 1);  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $dV$  – элемент объема, занятого проводником с током;  $\vec{j}$  – плотность тока в элемента  $dV$ .

Рассмотрим наиболее простой вариант метода расчета магнитного поля для расчетной области, разбитой на кубические ячейки с длиной ребра  $R$  таким образом, что границы раздела всех сред совпадают с границами ячеек. При этом значение магнитной индукции в центре каждой ячейки можно найти по принципу суперпозиции, суммируя вклады от каждого  $i$ -го элемента расчетной области, для которого задана ненулевая величина плотности тока  $j$ , то есть

$$\vec{B}(\vec{r}) = \int_V \frac{\mu_0 [\vec{j} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} dV \approx \sum_{i=1}^{N_V} \frac{\mu_0 [\vec{j} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} R^3. \quad (3)$$

Чем меньше величина  $R$ , характеризующая размер ячейки расчетной сетки, тем точнее результат расчета. Главная проблема в этом случае состоит в учете наличия сред с нелинейными магнитными характеристиками, например, ферромагнитных.

Для учета немагнитных сред предлагается имитировать магнитные домены. При этом в каждую кубическую ячейку помещается круглая рамка с током, способная вращаться в трех степенях свободы вокруг центральной точки ячейки. Диаметр рамки равен линейному размеру ячейки  $R$ . Рамка поворачивается так, чтобы вектор нормали к ее плоскости был всегда направлен вдоль вектора магнитной индукции, создаваемого внешним полем по отношению к данной ячейке. Направление наведенного тока в рамке определяется из условия, что данный ток усиливает внешнее поле. Величина наведенного тока рассчитывается по вектору намагниченности

$$\vec{J} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H}, \quad (4)$$

где  $\vec{B}$  – индукция магнитного поля, создаваемого в элементе  $dV$  внешними источниками;  $\vec{H}$  – напряженность магнитного поля, создаваемого внешними источниками, величина которой определяется по кривой намагничивания  $H = f(B)$  для данного ферромагнитного материала. Направление векторов  $\vec{H}$  и  $\vec{J}$  совпадает с направлением вектора  $\vec{B}$ .

По намагниченности, определяем величину элементарного тока в рамке домена

$$i_0 = JdL \approx JR, \quad (5)$$

где  $dL$  – длина силовой линии внешнего поля в пределах домена.

Такой алгоритм приводит к тому, что закон полного тока при наличии ферромагнитных сред принимает вид

$$\oint_{L_0} \left( \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \right) d\vec{L} = \int_{S_0} \vec{j} d\vec{S}, \quad (6)$$

где  $d\vec{S}$  – вектор нормали к элементарному сечению проводника  $dS$ .

Наведенные токи в рамках доменов становятся дополнительными источниками магнитного поля. Составляющие индукции магнитного поля от рамки с током в любой точки пространства в цилиндрической системе координат, в которой ось  $z$  совпадает с осью рамки с током, находятся по формулам

$$B_z(r, z) = \frac{i_0 \cdot 10^2}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{(a+r)^2 + z^2}} \left( K(k) + \frac{a^2 - r^2 - z^2}{(a-r)^2 + z^2} E(k) \right), \quad (7)$$

$$B_r(r, z) = \frac{i_0 \cdot 10^2}{2\pi} \frac{z}{r\sqrt{(a+r)^2 + z^2}} \left( -K(k) + \frac{a^2 + r^2 + z^2}{(a-r)^2 + z^2} E(k) \right), \quad (8)$$



$$B(r, z) = \sqrt{B_z^2(r, z) + B_r^2(r, z)}, \quad (9)$$

где

$$k = \sqrt{\frac{4ar}{(a+r)^2 + z^2}} \quad (10)$$

– модуль эллиптического интеграла;

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}} \quad (11)$$

– полный нормальный эллиптический интеграл Лежандра 1-го рода;

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \left( \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} \right) d\psi \quad (12)$$

– полный нормальный эллиптический интеграл Лежандра 2-го рода;

$$a = \frac{R}{2} \quad (13)$$

– радиус рамки с током.

На рис. 2 представлена картина магнитного поля, созданного круговым током в сечении, проходящем через ось рамки  $z$  вдоль произвольно выбранного радиуса  $r$ .

Расчет по (7) – (8) требует расчета эллиптических интегралов Лежандра первого и второго рода, что в циклических алгоритмах сопряжено с относительно большими временными затратами. Поэтому можно предложить использовать эти формулы для расчета индукции только в тех ячейках, которые расположены в непосредственной близости от рамки с током, то есть когда  $r_{ki} = (1 \div 5)R$ . Если же  $r_{ki} \gg R$ , то без особой потери точности можно воспользоваться формулой, аналогичной формуле напряженности электрического диполя

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i_0 S}{4\pi r^3} \left[ 3 \left( \frac{\vec{r}}{r} \right) \cos(\vec{z} \wedge \vec{r}) - \vec{z} \right], \quad (14)$$

где  $\vec{z}$  – единичный вектор, направленный вдоль оси рамки с током.

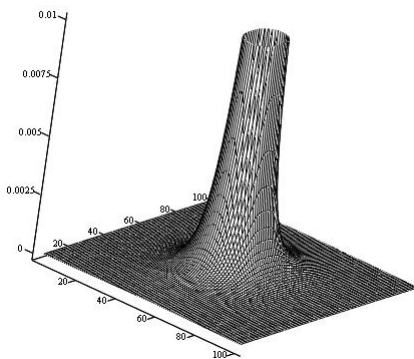


Рис. 2. Распределение магнитной индукции от рамки с током

С учетом наведенных токов в доменах ферромагнитных сред формула для расчета индукции в каждой  $i$ -й ячейке принимает вид

$$\vec{B}_i = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=1}^{N_j} \frac{[\vec{J}_k \times \vec{r}_{ik}]}{r_{ik}^3} + \sum_{k=1}^{N_j} \vec{B}_{ik}, \quad (15)$$

где первая сумма аналогично (3) определяет вклад в магнитную индукцию в  $i$ -й точке от токов в проводниках, а вторая сумма, слагаемые которой рассчитываются по (9), определяет вклад в магнитную индукцию в  $i$ -й точке от наведенных токов в доменах ферромагнетика.

Алгоритм расчета магнитного поля состоит в переборе всех ячеек и определении по (15) величины магнитной индукции в их центрах. Для учета нелинейности расчет осуществляется в ходе ряда итераций, в каждой из которых уточняются величины наведенных круговых токов, имитирующих домены ферромагнитные областей.

Приведенный математический аппарат может быть легко реализован как в среде Matlab, так и в любой среде программирования. К достоинствам данного метода можно отнести:

1. Простота алгоритма расчета.
2. Простота реализации данного алгоритма в технологии параллельных вычислений, в частности в технологии CUDA с использованием многопроцессорных графических ускорителей.
3. Комбинация аналитических методов с численными способами их реализации способствует повышению точности расчета.
4. Решаемая задача не имеет граничных условий Дирихле или Неймана, необходимость задания которых в традиционных методах решения краевых задач может привести к существенным погрешностям вблизи границ расчетной области.

*А.С. Зайцев, асп.; рук. А.И. Тихонов д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ В ТЕХНИКЕ КОМБИНИРОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Математическую модель заданного класса явлений условно можно представить в виде функции

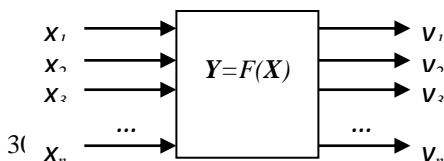


Рис. 1. Условное изображение математической модели

$$Y = F(X), \quad (1)$$

где  $X$  – вектор аргументов;  $Y$  – вектор значений функции. Условно математическую модель можно изобразить в виде функционального звена с несколькими входами и несколькими выходами (рис. 1). Такая модель позволяет рассчитывать значения выходных величин при заданных значениях входных величин. То есть расчет идет в прямом направлении, поэтому задача расчета элементов вектора  $Y$  при заданных значениях элементов вектора  $X$  называется *прямой*. *Обратной* задачей называется задача расчета элементов вектора  $X$ , при которых элементы вектора  $Y$  принимают изначально заданные значения.

Частным и наиболее сложным случаем решения обратных задач являются оптимизационные задачи или задачи поиска экстремума функций нескольких переменных. Такие задачи являются традиционными как в научной, так и в технической деятельности. Однако решение подобных задач осложнено рядом факторов, а именно:

1. Задача может быть многоэкстремальной (имеет некоторое множество «устойчивых» решений).
2. Задача может иметь выраженную овражность по некоторым входным данным.
3. Задача может иметь дискретные входные данные и иметь разрывы в описывающей данный процесс или объект функции.

Решение любой задачи на начальном этапе сводится к математическому описанию явления или объекта на основе (1), на выходе которого формируется скалярная величина (целевая функция). Далее работа ведется именно с этой функцией.

Так, особенности решения многоэкстремальных задач сводятся к поиску экстремума функции, они являются хорошо изученными и освещены в литературе [1, 3-5]. Универсального метода, способного точно определять экстремум таких функций не существует. Удовлетворительная точность достигается лишь при разработке специализированного под конкретную задачу алгоритма.

Аналогична ситуация и с дискретностью входных данных (аргументов) функций [1, 2]. В большинстве случаев предлагается приведение дискретных функций к непрерывному виду, однако, это не всегда возможно.

Наиболее трудозатратной является проблема овражности функций [2]. К тому же, оптимизация технических объектов и сложных явлений сводится к работе именно в условиях овражности исследуемой функции.

Большинство специализированных методов позволяют работать с функциями, решая лишь одну проблему теории минимизации (многоэкстремальность, овражность, дискретность).

Анализ литературы и традиционных методов поиска экстремума функций выявил необходимость поиска алгоритма, который мог бы работать и с многоэкстремальностью, и с овражностью, и с дискретностью аргументов функции.

В качестве такого метода предлагается использовать эволюционные алгоритмы [3], коэволюционные алгоритмы [4] и генетические алгоритмы (ГА) [5]. Исследование возможностей данных методов показало хорошие результаты [6], но так же были выявлены и недостатки, которые привели к созданию комбинированного алгоритма оптимизации на основе ГА и метода деформируемого многогранника (метод Нелдера-Мида, симплекс-метод) [6].

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора в живой природе, в них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. При описании ГА используются определения заимствованные из генетики и основные понятия линейной алгебры.

Так каждый из аргументов исследуемой функции будет называться геном, а весь вектор входных параметров (аргументов функции) будет называться генотипом и нести в себе наследственную информацию, решение функции (значение функции) будет называться фенотипом (может быть, как скалярной, так и векторной величиной).

Для применения принципов наследственности и изменчивости используются генетические операторы имитирующие скрещивание, мутации, борьбу за жизнь и другие.

Исследования показали [6], что даже при работе с функциями двух переменных, при имитации многоэкстремальности, дискретности и овражности требуется создание определенной, подходящей под конкретную задачу, модели ГА (настройка ГА), либо создание самонастраивающихся ГА.

Другим вариантом является объединение достоинств ГА с традиционными методами оптимизации.

Ранее [6] были представлены различные модели ГА, такие как:

1. Модифицированный генетический алгоритм (ГАМ).

Модификации подверглись такие генетические операторы, как скрещивание, отбор особей в следующее поколение, стратегия выбора родительских пар. Данные действия можно отнести к процессу настройки алгоритма под конкретную задачу.

2. Модифицированный ГА с обучением лучшей особи методом Нелдера – Мида (ГАНМ).

Метод Нелдера – Мида (или симплекс – метод) является одним из лучших методов при работе с овражными функциями, но он непригоден в многоэкстремальных задачах [1, 2]. Объединение достоинств данного метода с возможностями ГА позволило бы решить проблему овражности и многоэкстремальности исследуемых функций.

3. Параллельный генетический алгоритм (ПГА).

В данном алгоритме заложено сразу несколько параллельно развивающихся эволюционных моделей, что является, своего рода, оптимизацией стратегии минимизации функции. Это избавляет нас от необходимости настраивать ГА под конкретную задачу и делает его более универсальным. В основе ПГА лежит островная модель ГА с несколькими отдельно развивающимися подпопуляциями.

Тестирование проводилось на следующих функциях:

1. Трехмерная парабола – тестовая функция №1.

2. Функция Розенброка (Rosenbrock) – тестовая функция №2.

3. Функция Химмельблау (Himmelblau) – тестовая функция №3.

Подробнее об особенностях данных функций и результатах работы с ними данных алгоритмов указано в [6].

В итоге ГАНМ не смог определить минимум функции №3, однако была очевидна возможность объединения возможностей ГА с традиционными методами. ГАНМ выигрывает в скорости работы и в качестве поиска экстремума (особенно у овражных функций).

Более универсальным методом поиска экстремума оказался ПГА, он справился со всеми функциями, но ПГА показал меньшую скорость работы по сравнению с ГАНМ и ГАМ.

Следующим шагом стала разработка комбинированного алгоритма оптимизации, в котором сочетались бы достоинства ПГА и ГАНМ.

В итоге, была разработана модель параллельного ГА в одной из подпопуляций которого лучшая особь обучалась алгоритмом Нелдера-Мида.

Для тестирования полученной модели был выбран силовой трансформатор, целевая функция которого имеет на входе двенадцать аргументов (двенадцатимерная задача).

В ходе решения данной задачи и разработки описанной модели были выявлены некоторые особенности и сделаны следующие выводы:

1. Для формирования симплекса  $n$ -мерного пространства деформируемый многогранник должен иметь  $(n+1)$  вершину, где  $n$  – размерность функции (количество аргументов функции) [1, 2]. Однако, опытным путем было установлено, что количество вершин многогранника

(K) не значительно влияет на качество обработки функции, но существенно усложняет сам алгоритм и время его выполнения. В данном случае количество вершин (узлов) симплекс-элемента  $K = 3$ .

2. Метода Нелдера-Мида при  $n > 6$  является неэффективным [2].

В данном случае, решалась двенадцатимерная задача, и комбинирование ПГА с алгоритмом Нелдера-Мида дало положительный результат, что говорит о целесообразности его применения в таких сложных задачах.

3. Алгоритм Нелдера-Мида, в отличие от ГА, не задействует в процессе своей работы генератор случайных чисел (псевдослучайных чисел), который позволяет генерировать значения аргументов функции внутри области допустимых значений. Этот факт заставляет осуществлять контроль получаемых с помощью симплекс-метода значения аргументов функции и контролировать их нахождение в области допустимых значений.

4. Если количество особей в популяции ГА исчисляется сотнями, а число поколений десятками, то количество преобразований симплекс-элемента не превышает и 10. Дальнейшее увеличение количества преобразований не дает существенного эффекта.

5. Если обучаемая симплекс-методом особь «принадлежит» к локальному минимуму функции, то на выходе получим окончательное значение лишь для данного минимума.

6. ГА позволяет проанализировать область поиска экстремума функции, выявить аргументы, ведущие к овражности и многоэкстремальности функции и сузить область поиска для алгоритма Нелдера-Мида, уменьшив, таким образом, размерность функции, что существенно ускорит процесс оптимизации и повысит эффективность решения задачи данной моделью. Таким образом, ГА выступает в роли инструмента для анализа пространства решений задачи.

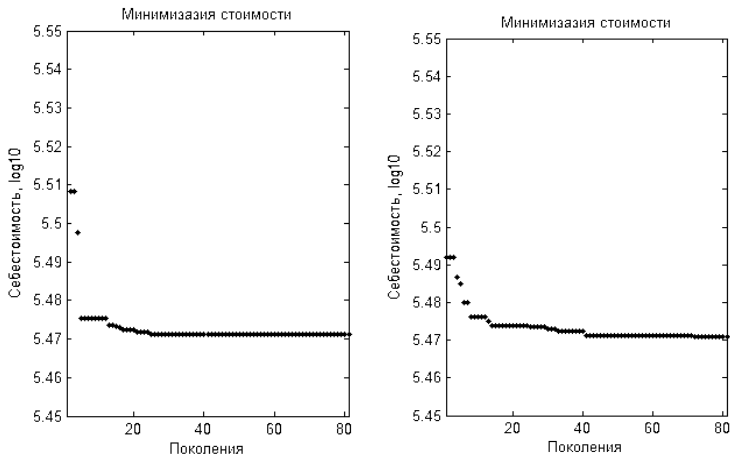


Рис. 2. Процесс минимизации целевой функции силового трансформатора: слева – ПГА; справа – комбинированный метод

Из рис. 2 можно видеть, что применение комбинированного алгоритма позволяет выйти на оптимальное значение целевой функции на 60 % быстрее. Следует иметь ввиду, что выигрыш в 60 % не является постоянным вследствие особенностей работы ГА, однако это позволяет сделать выводы об эффективности применения комбинированного метода при решении сложных оптимизационных задач (обратных задач).

#### Библиографический список

- 1.Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 2002.
- 2.Ларичев О.И. Методы поиска локального экстремума овражных функций. – М.: Наука, 1989.
- 3.Каширин И.Л. Введение в эволюционное моделирование. – Воронеж, 2007
- 4.Жукова М.Н. Козволюционный алгоритм решения сложных задач оптимизации. – Красноярск: СибГАУ, 2004.
- 5.Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. – Астрахань: Астраханский Университет, 2007.
- 6.Зайцев А.С., Тихонов А.И. Генетический алгоритм, как метод поиска экстремума функций различной сложности: Материалы региональной науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых «Энергия - 2013». Том 2 / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2013. - с. 258 - 261.

*И.А. Корнев, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Моделируемые электрические цепи и другие системы, представленные в виде схем замещения, состоят не только из базовых элементов и могут иметь довольно сложную структуру. Чем большее количество топологий электрической цепи и чем большее количество её элементов удастся представить, тем построенная модель будет охватывать больший спектр схем и устройств.

Математический аппарат расчёта электрических цепей базируется на методе переменных состояния, строящийся на основе комбинации метода сечений и метода контурных токов. При этом для каждой ветви электрической цепи рассчитывается зависимость тока или напряжения от времени.

Моделирование и расчёт электрических цепей сводится к моделированию базовых элементов электрической цепи, матричным преобразованиям и решению дифференциальных уравнений. Подобный функционал реализован во многих математических пакетах. Отличие состоит в скорости, точности расчёта и удобства задания цепи.

Сложные элементы и приборы моделируются за счёт простых, путём некоторой функции, изменяющей параметра элемента. К примеру, внутреннее сопротивление диода зависит от напряжения на его концах, а чтобы смоделировать поведение термопары, достаточно отслеживать внутреннее сопротивление относительно температуры (которая в свою очередь будет зависеть от времени и, возможно, тепловому обмену с окружающей средой).

Сложность представляют такие элементы электрической цепи, которые динамически меняют не только свои внутренние параметры, но и свою внутреннюю структуру. К примеру, это может быть разрыв провода, который до разрыва представлялся лишь сопротивлением, а после необходимо учитывать и другие его параметры. Таким образом становится возможным моделировать элементы, в которых произошли необратимые изменения, в том числе порча, выход из строя или переход из штатного режима в критический.



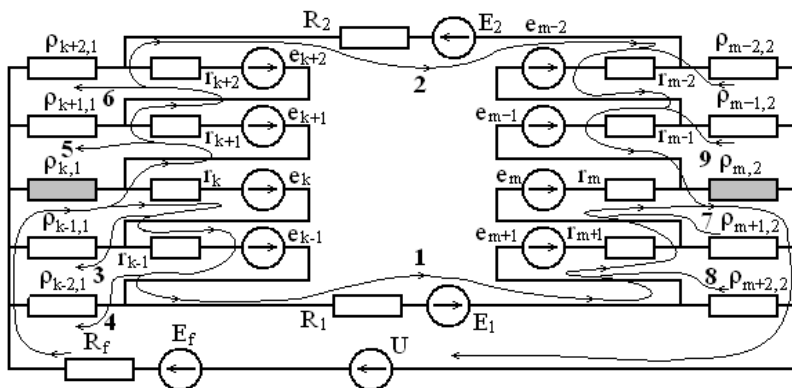


Рис. 1. Упрощенная схема замещения МПТ

Задачу по динамическому изменению структуры моделируемого элемента можно рассмотреть на примере коммутации в электрических машинах (рис. 1), где в зависимости от положения секций относительно щёток, изменяется сама структура схемы замещения электрической цепи. На каждом моменте времени будет происходить пересчёт не только параметров электрической цепи, но и в определённые моменты будет происходить перестраивание схемы.

*А.О. Ничипорчук, А.И. Жуковский, С.В. Крук  
(УП «АТОМТЕХ», г. Минск); рук. С.А. Кутень, к.ф.-м.н.  
(НИИ ЯП БГУ, г. Минск)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ХОДЕ СОЗДАНИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА МКС-АТ6101ДР

### Введение

Средства измерений для определения уровня радиоактивного загрязнения в объектах окружающей среды относятся к лабораторным, в большинстве своем стационарным, и полевым (портативным), используемым для контроля объектов без проведения отбора проб.

Случайные и систематические ошибки на этапах отбора и подготовки проб, низкая производительность, а так же высокие затраты стимулируют разработку и создание высокочувствительного интеллектуального портативного оборудования для измерения радиацион-

ных характеристик почв, в месте их естественного залегания методом *in situ*.

### **Описание прибора и его назначение**

Спектрометр, разработанный УП «АТОМТЕХ» представляет собой портативный многофункциональный прибор, состоящий из размещаемого в герметичном контейнере спектрометрического сцинтилляционного блока детектирования (БД) и карманного портативного компьютера (КПК) со специализированным программным обеспечением. Беспроводная связь БД с программным обеспечением КПК осуществляется с помощью Bluetooth модуля, также размещенного в герметичном контейнере (рисунок 1).



Рис1. Общий вид спектрометра

Блок детектирования с кристаллом NaI(Tl) размерами  $\varnothing 63 \times 63$  мм представляет собой функционально-законченное устройство, предназначенное для регистрации попавших в рабочее вещество детектора  $\gamma$ -квантов, образовавшихся в результате радиоактивного распада радионуклидов в объекте измерения.

Диапазон измерения энергетического распределения гамма-излучения с энергией от 0,05 до 3,00 МэВ.

### **Математическое моделирование**

Для численного моделирования методом Монте-Карло использовалось программное обеспечение MCNP (Monte-CarloN-ParticleTransport, LosAlamosNationalLaboratory, USA).

Основная задача моделирования заключалась в создании математической модели устройства детектирования спектрометра и почвы региона Тохоку (Япония) с целью получения в заданных геометриях измерения функций отклика спектрометра.

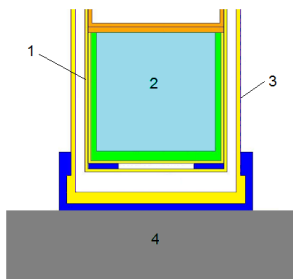


Рис. 2. Математическая модель геометрии измерения *in situ* .:

1 – математическая модель корпуса блока детектирования; 2 – математическая модель детектора NaI(Tl); 3 – математическая модель термоударопрочного контейнера; 4 – математическая модель почвы

На начальном этапе была проведена верификация модели устройства детектирования с физическим образцом спектрометра. Для сличения использовался точечный источник типа ОСГИ-3 с гамма-излучающим радионуклидом  $Cs^{137}$ . Отклонение на уровне 5% амплитуды пика полного поглощения (ППП) с энергией гамма-излучения 662 кэВ теоретического спектра от экспериментального показывает высокую степень соответствия разработанной математической модели экспериментальному образцу. Для математического моделирования процесса измерения активности гамма-излучающих радионуклидов  $Cs^{134}$  и  $Cs^{137}$  в почве была разработана математическая модель почвы. Значение плотности математической модели почвы было принято  $1,3 \text{ г/см}^3$ . В таблице 1 представлен элементный состав почвы региона Тохоку.

**Таблица 1. Элементный состав почвы региона Тохоку**

|                       |       |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Химический элемент    | Si    | Al   | Fe   | Ca   | Mg   | K    | Na   |
| Весовое содержание, % | 24,32 | 5,07 | 1,04 | 0,31 | 0,62 | 1,21 | 1,08 |
| Химический элемент    | O     | P    | S    | C    | H    | N    |      |
| Весовое содержание, % | 62,18 | 0,03 | 0,07 | 3,53 | 0,38 | 0,19 |      |

Математическое моделирование позволило оценить критический радиус эффективной зоны почвы (источника), вносящей вклад в функцию отклика детектора не менее 90% .

По результатам математического моделирования получены функциональные зависимости критического радиуса измеряемого объекта, в частности почвы, от глубины залегания радионуклидов в почве.

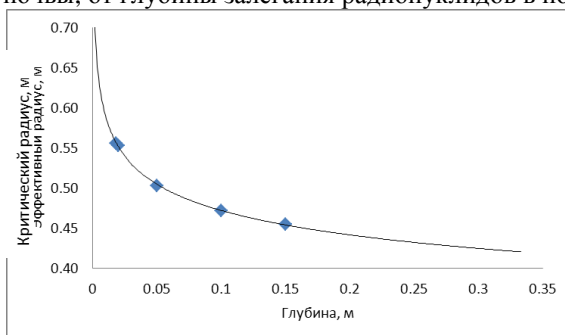


Рис. 4. Зависимость критического радиуса почвы для  $Cs^{134}$  и  $Cs^{137}$  от глубины залегания радионуклидов

Для оценки влияния плотности почвы на результаты измерения были получены теоритические аппаратные спектры радионуклида  $Cs^{137}$  с критическим радиусом почвы 0,5 м на глубине залегания радионуклида 15 см в геометрии измерения «in situ» при плотности почвы 1 г/см<sup>3</sup>, 1,3 г/см<sup>3</sup> и 1,5 г/см<sup>3</sup>.

Отклонение амплитуд ППП с энергией гамма-излучения 662 кэВ для почв с плотностями 1,0 г/см<sup>3</sup> и 1,5 г/см<sup>3</sup> на уровне  $\pm 7\%$  относительно амплитуды ППП с энергией гамма-излучения 662 кэВ для почвы с плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup> показывает незначительное влияние плотности на результат измерения.

### Экспериментальные исследования метрологических параметров спектрометра

Экспериментальные исследования метрологических параметров спектрометра проводились в префектуре Фукусима (Япония). Для подтверждения функциональных зависимостей чувствительности спектрометра к радионуклидам  $Cs^{134}$  и  $Cs^{137}$  от глубины их залегания, полученных с использованием Монте-Карло моделирования, использовались четыре участка размерами 5х5 м с различными глубинными распределениями.

С помощью специального пробоотборного устройства были получены образцы почв по слоям. Отобранные образцы измерялись на аттестованном стационарном радиометре РКГ-АТ1320С.

Таблица 2. Сравнение показаний спектрометра МКС-АТ6101ДР и радиометра АТ1320С

| Глубина вспашки почвы | Удельная активность в 15-ти сантиметровом слое, Бк/кг |            |                                     |            | Максимальное отклонение по $Cs^{137}$ , % | Максимальное отклонение по $Cs^{134}$ , % |
|-----------------------|---|------------|-------------------------------------|------------|---|---|
|                       | Показания радиометра АТ1320С                          |            | Показания спектрометра МКС-АТ6101ДР |            |   |   |
|                       | $Cs^{137}$  | $Cs^{134}$ | $Cs^{137}$                          | $Cs^{134}$ |   |   |
| Невспаханная          | 595±167   | 280±80     | 517±155                             | 268±81     | 13  | 4   |
| Вспаханная на 5 см    | 282±94  | 158±47     | 342±103                             | 178±53     | 21  | 13  |
| Вспаханная на 10 см   | 309±103   | 122±45     | 279±84                              | 129±39     | 10  | 6   |
| Вспаханная на 15 см   | 300±100   | 164±50     | 367±110                             | 173±52     | 22  | 5   |

Согласно полученных результатов, максимальное отклонение показаний удельной активности не превышает  $\pm 25\%$ , что указывает на хорошее соответствие разработанной математической модели не только устройства детектирования спектрометра, но и почвы района города Фукусима реальным объектам.

### Заключение

Разработанная математическая модель спектрометра и почвы позволила определить функцию отклика детектора к контролируемым радионуклидам в заданной геометрии измерения.

В результате математического моделирования и экспериментальных исследований получены зависимости критического радиуса почвы от глубины залегания радионуклидов  $Cs^{134}$  и  $Cs^{137}$  и определена чувствительность спектрометра к контролируемым радионуклидам в данной геометрии измерения. Проведена оценка влияния плотности на критический радиус, при уменьшении плотности почвы критический радиус увеличивается, компенсируя изменение массы объекта измерения в зависимости от плотности.

*Д.И. Комар, магистрант; рук. С.А. Кутень, к.ф.-м.н.  
(НАН РБ, г. Минск)*

## МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА НЕЙТРОНОВ ДЛЯ КОЛЛИМАТОРА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Компьютерное моделирование процессов транспорта нейтронов методами Монте-Карло производится с целью оптимизации физико-технических и конструкционных параметров коллиматора, формирующего поток тепловых нейтронов для калибровки дозиметров и радиометров нейтронного излучения. Монте-Карло модель воспроизводит геометрию источника и коллиматора тепловых нейтронов типа УКПН. Ниже приведены результаты моделирования транспорта нейтронов в данной геометрии.

В качестве источника нейтронов применялся Pu-Be источник типа ИБН-8-6, с радионуклидом Pu-238. Коллиматор представляет собой вставку, выполненную в специальной геометрии из полиэтилена. Своим основанием вставка примыкает к блоку-замедлителю, который имеет форму сферы. Внутри блока замедлителя установлен держатель источника быстрых нейтронов. Для корректности модели выполнено тщательное воспроизведение источника нейтронов.

Источник нейтронов ИБН-8-6 имеет размеры активной части  $d=13$  мм и  $h=13,5$  мм. Поток быстрых нейтронов

$$2 \cdot \frac{10^7 \text{ нейтр}}{\text{с}}$$

С помощью кода MCNP [1] рассчитывался поток частиц в заданной точке в определенном интервале энергий.

Разработанная модель коллиматора приведена на рисунке 1.

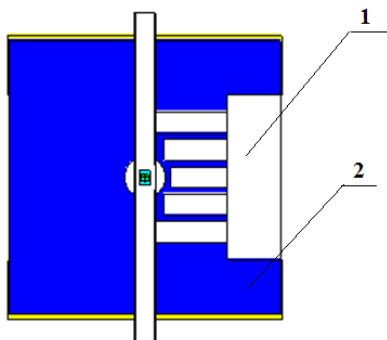


Рис. 1. Монте-Карло модель коллиматора для тепловых нейтронов, 1-воздух, 2-полиэтилен

Нормированный спектр быстрых нейтронов [3], который использовался при моделировании источника ИБН-8-6, изображен на рисунке 2. Модель источника предполагает, что нейтроны образуются во всем его объеме. [2]

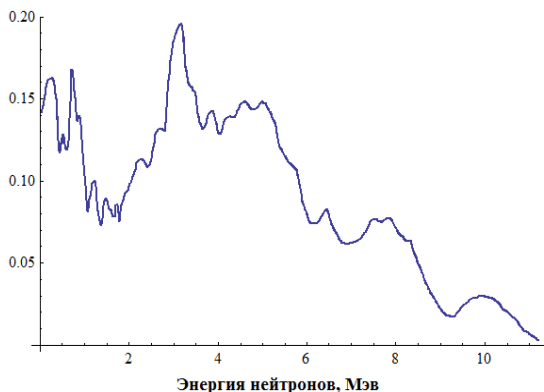


Рис. 2. Спектр нейтронов, применяемый при моделировании источника

Проведены расчеты энергетического потока нейтронов на расстоянии 30 см от источника. На рисунке 3 изображен полученный в результате моделирования спектр нейтронов в диапазоне энергий от  $10^{-10}$  Мэв до 12 Мэв.

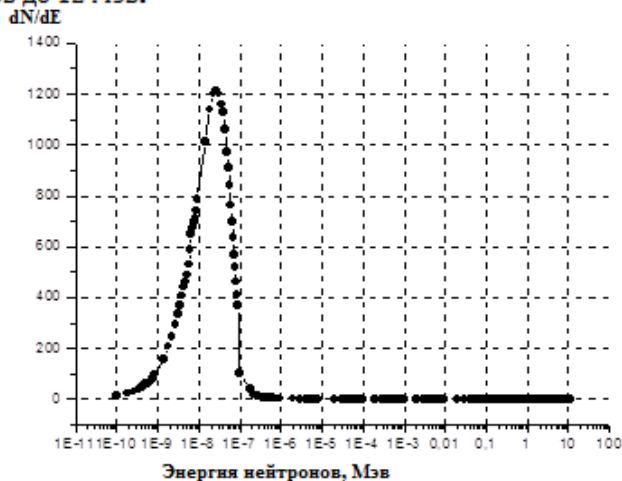


Рис. 3. Спектр нейтронов, полученный моделированием Монте-Карло

Пик интенсивности потока нейтронов приходится на  $5 \cdot 10^{-7}$  Мэв. Основной вклад в общую интенсивность дают тепловые нейтроны, но с точки зрения дозовых характеристик важной является также область быстрых нейтронов. На рисунке 4 представлен спектр в диапазоне от 1 Мэв до 12 Мэв.

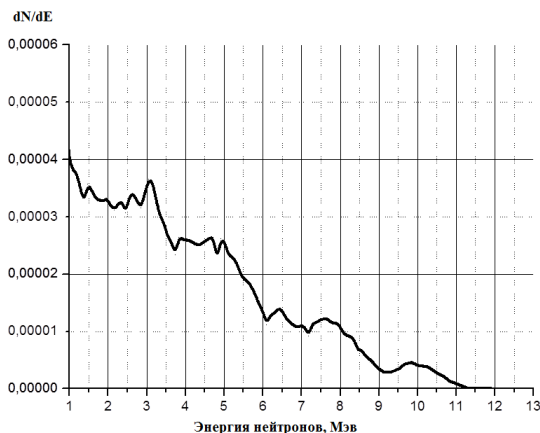


Рис. 4. Спектр в области быстрых нейтронов

Согласно полученным графикам на выходе коллиматора формируется поток нейтронов с ярко выраженной тепловой компонентой.

#### Библиографический список

1. **Briesmeister J.F.** MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. / Briesmeister J.F., Ed. Los Alamos National Laboratory. LA-12625-M. - Los Alamos. 1997. - 736 p.

2. **Radioactive** neutron source spectra from  ${}^9\text{Be}(\alpha, n)$  cross section data. / K.W. Geiger and I. Van der Zwan.

3. **Интегральные** эксперименты в проблеме переноса ионизирующих излучений: Справочное руководство / И. В. Горячев, Ю. И. Колеватов, В. П. Семенов, Л. А. Трыков.-М.: Энергоатомиздат, 1985. - 272 с. ил.

*К.А. Веренич, соискатель; рук. В.Ф. Миненко, к.б.н., доц.  
(БГУ, г. Минск)*

## ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРОНОВ В ПУЧКЕ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Тормозное излучение, создаваемое медицинскими линейными ускорителями электронов высоких энергий, все шире используется в современной лучевой терапии вместо гамма-излучения радиотерапевтических установок. Для линейных ускорителей с энергией электронов выше 10 МэВ в дополнение к тормозному излучению образуется вто-



ричное нейтронное излучение. Нейтроны образуются на элементах выходной головки ускорителя, главным образом, в результате взаимодействия гамма-квантов с ядрами атомов материалов мишени, формирующих устройств и защиты, в процессе так называемого гигантского дипольного резонанса (ГДР) [1]. ГДР наблюдается в диапазоне энергий фотонов от 6 до 40 МэВ. Причем при переходе от легких ядер к тяжелым ГДР смещается в область меньших энергий.

Особая опасность нейтронного излучения состоит в том, что тяжесть биологического воздействия нейтронов зависит от энергии и для низких энергий до 20 раз выше по сравнению с фотонным излучением. Поэтому важно знать вклад нейтронов в терапевтический пучок для оценки дозы облучения пациента, а также их вклад в рассеянное излучение внутри и вне лечебной комнаты для оценки доз облучения персонала и населения.

Используя метод Монте-Карло моделирования транспорта частиц, нами проведена оценка вклада вторичных нейтронов в терапевтический пучок тормозного излучения медицинского линейного ускорителя Клинак-2300С с номинальной энергией электронов 18 МэВ. Моделирование проводилось с использованием программы MCNP [2]. В расчетах была использована детализированная модель головки ускорителя Клинак, которая включала поворотный магнит, мишень с держателем, первичный коллиматор, выравнивающий фильтр, раздвижной коллиматор, многолепестковый коллиматор, конструктив и защиту.

Моделирование бомбардировки электронами мишени ускорителя проводилось для энергии электронов, имеющей нормальное распределение со средним значением 18,3 МэВ, шириной на полувысоте 0,22 МэВ.

Созданный входной файл, моделирующий источник фотонов, обеспечивает расчет транспорта фотонов и электронов в программе MCNP. Фотоны тормозного излучения рассчитывались с помощью техники эффективного поверхностного источника (SSW и SSR карты), окружающего держатель мишени. В результате расчета был создан бинарный файл поверхностного источника, который содержит тип и вес частицы, ее энергию, исходные координаты и вектор направления. Далее этот файл используется для расчёта транспорта фотонов в средах с учетом всех взаимодействий, включая образование фотонейтронов.

Энергетический спектр фотонов поверхностного источника, приведённый на рисунке 1, представляет собой типичный спектр тормозного излучения. Видно, что максимум приходится на диапазон энергий около 1 МэВ. Вместе с тем, для дальнейшего расчёта фотонейтронов рас-

сматривались только энергии исходных фотонов выше 5 МэВ, т.к. согласно [3] порог фотоядерных реакций превышает 5 МэВ для всех материалов головки ускорителя.

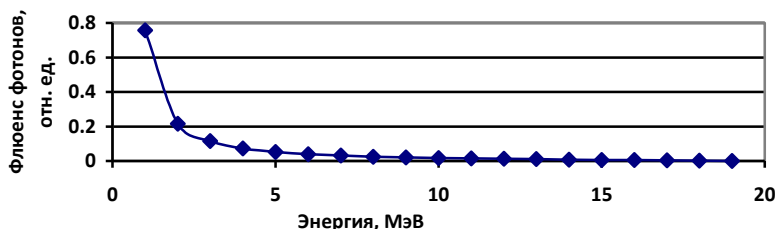


Рис. 1. Энергетическое распределение фотонов поверхностного источника.

Исключение из рассмотрения энергий фотонов ниже 5 МэВ значительно сокращает время расчёта, не приводя к заметному увеличению погрешностей. Вторым возможным вариантом сокращения времени расчёта является ограничение углов распространения фотонов. Распределение потока фотонов по углу между направлением пучка электронов и направлением вылета фотонов показано на рисунке 2. По результатам расчёта в программе MCNP распределение фотонов имеет явно выраженное направление вперед.

Для расчёта нейтронного потока в произвольной точке вокруг ускорителя создана модель поверхностного источника нейтронов по аналогии с фотонным источником.

Источник нейтронов распределен по сфере радиусом 70 см, окружающей выходную головку ускорителя. Разработанная модель источника нейтронов будет использоваться для расчёта дозиметрических характеристик поля вторичных нейтронов внутри и вне лечебного помещения, в котором расположен ускоритель Клинак-2300С/D центра онкологии в г. Минске.

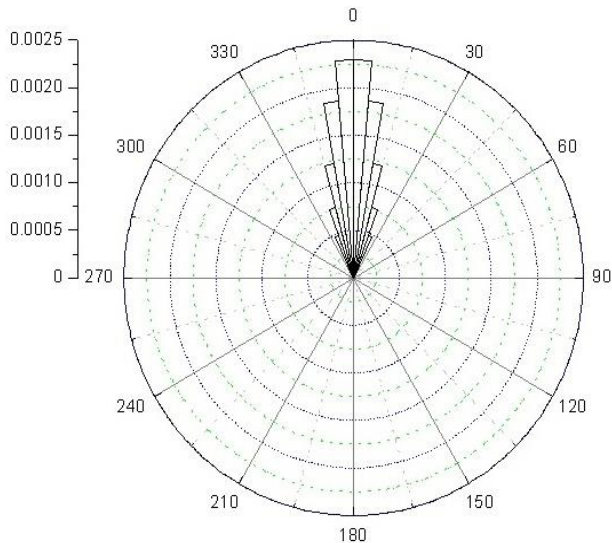


Рис. 2. Распределение флюенса фотонов вокруг мишени, отнесенных к одному падающему электрону.

#### Библиографический список

1. **Мао Х. S.** Giant dipole resonance neutron yields produced by electrons as a function of target material and thickness. /Mao, X. S., Kase, K. R., Nelson, W. R.// Health Phys. - 1996. - №70. - pp. 207-214.
2. **MCNP- A** general Monte Carlo N-particle transport code, Version 4A. Report LA-12625-M. / Bristmeister J. F., Ed. – Los Alamos: LANL. 1993. – 736 pp.
3. **Varlamov A.V.** Atlas of Giant Dipole Resonances. Parameters and Graphs of Photo-nuclear Reaction Cross Sections. INDC(NDS)-394, /A.V. Varlamov, V.V.Varlamov, D.S.Rudenko, M.E.Stepanov. - Vienna.: IAEA NDS. 1999.

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

## МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ

Определение дозовых нагрузок на ткани и органы пациентов при рентгенологических исследованиях производится методами Монте-Карло и, как правило, сопровождается экспериментальными измерениями дозы или воздушной кермы для определенного фантома. Ниже

приведено сравнение измерений и моделирования воздушной кермы и глубинных распределений поглощенной дозы для водного фантома малого объема (30×30×30 см). Модель воспроизводит все условия измерений, которые были проведены на физическом фантоме, имеющемся в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова (г.Минск).

Измерения проводились с помощью ионизационной камеры (ИК) PTW Farmer 30001 объемом  $0,6 \text{ см}^3$ , предназначенной для измерения абсолютных значений доз от электронов и фотонов при медицинском облучении. Внешний вид и разработанная Монте-Карло модель ИК приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид и Монте-Карло модель камеры, 1 –графит, 2 – PMMA, 3 - Al.

Все необходимые геометрические характеристики вычислены из технической документации на ИК. Поскольку объем ИК весьма мал, тщательное воспроизведение в модели размеров и состава компонентов прибора является необходимым для корректности модели. Чувствительная часть камеры представляет собой воздушное пространство, в которое помещен алюминиевый анод. Катод камеры выполнен в виде графитового слоя толщиной 0,09 мм и покрыт слоем пластика толщиной 0,335 мм. Длина чувствительной части ИК 23 мм; радиус 3,05 мм. Часть ее заполняет Al-электрод длиной 21,2 мм и радиусом 0,55 мм. Считая, что рабочий объем ИК есть изображенное на рис 1 воздушное пространство, можно получить значение для угла раскрыва  $\alpha=48,8^\circ$  и другие величины для конусной части ИК.

Измерения проводились при различных напряжениях на рентгеновском аппарате «Космос -535». Для измерений поглощенной дозы в воздухе ИК помещалась над поверхностью водного фантома. Для моделирования в качестве спектра рентгеновской трубки использовался «TASMIP»-спектр [1] для напряжений и фильтраций, указанных в таблице 1. Во втором столбце приведены экспериментальные значения поглощенной дозы в воздухе, приведенные к 1 мАс, полученные для

поля облучения 10x7 см и расстояния от фокуса до центра камеры 70 см.

Согласно документации рентгеновская трубка аппарата «Космос - 535» имеет внутренний фильтр 1.2+0.3 мм Al при напряжении 150 кВ. Это означает, что первая часть внутреннего фильтра, обусловленная в основном стеклянным корпусом трубки, имеет эквивалент в толщине 1.2 мм Al, вторая часть, обусловленная Ве-окном в корпусе - 0.3 мм Al при указанном напряжении. Поскольку сами по себе указанные величины – эффективные и процедура их сравнения или преобразования к другим напряжениям – неоднозначная, в расчетах для облучения ионизационной камеры использовался ряд теоретических значений Al-фильтров. Зная типичный состав стекла корпуса рентгеновской трубки, с использованием энергетических TASMIP-спектров были проведены исследования энергетической зависимости толщины внутреннего фильтра аппарата. В результате этих расчетов получена зависимость толщины внутреннего фильтра рентгеновской трубки аппарата «Космос-535» от напряжения следующего вида

$$t_{inh}(V) = 0,0966557 + 0,155015\sqrt{V} - 0,034602V$$

где  $t_{inh}$  - толщина внутреннего фильтра в мм Al,  $V$  – напряжение в МВ. Эта зависимость использовалась при корректировке полного фильтра при расчетах и сравнении расчетной дозы с измеренной.

С помощью кода MCNP [2] рассчитывалась величина поглощенной дозы в рабочем объеме камеры, приведенная на один испущенный в источнике фотон, для 4 значений внешнего фильтра. Для сравнения с измеренной поглощенной дозой в воздухе над водной поверхностью эта величина умножалась на соответствующее число фотонов с учетом геометрии эксперимента. Плотность потока фотонов на сфере радиуса  $R$  для заданного напряжения на трубке может быть получена, интегрируя по энергии соответствующий «TASMIP»-спектр.

Результаты сравнения приведены в последнем столбце таблицы 1 и показаны на рисунке 2. Видно, что имеется удовлетворительное совпадение измеренных и расчетных поглощенных доз в воздухе над водной поверхностью при всех напряжениях. Это говорит о достаточной корректности разработанной MCNP модели указанной ионизационной камеры. Отклонение экспериментальной и теоретической поглощенной доз в области напряжений  $U > 80$ кВ может быть отнесено за счет несоответствия выставляемого напряжения на трубке фактическому используемому при моделировании.

**Таблица 1. Сравнение экспериментальных и расчетных результатов для измерений поглощенной дозы в воздухе над водной поверхностью**

| U, кВ | Эксперимент, мкГр/мАс | Поглощенная доза, мкГр/фотон, 10 <sup>9</sup> |      |      |      | Эксперимент/Расчет |
|-------|-----------------------|---|------|------|------|--------------------|
|       |                       | Толщина фильтра, мм                           |      |      |      |                    |
|       |                       | 1,5   | 1,9  | 2,7  | 3,0  |                    |
| 50    | 41,4                  | 6,42  | 6,26 | 5,99 | 5,90 | 1,25               |
| 63    | 76,7                  | 5,53  | 5,41 | 5,19 | 5,11 | 1,11               |
| 77    | 116,6                 | 4,96  | 4,84 | 4,65 | 4,58 | 0,98               |
| 85    | 137,8                 | 4,74  | 4,63 | 4,45 | 4,39 | 0,90               |
| 96    | 168,1                 | 4,50  | 4,40 | 4,28 | 4,23 | 0,82               |
| 109   | 205,9                 | 4,36  | 4,3  | 4,17 | 4,13 | 0,75               |

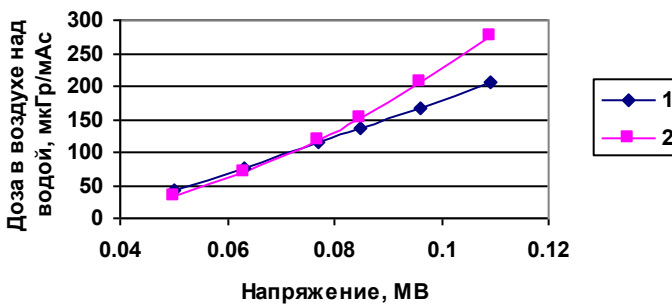


Рис. 2. Сравнение экспериментальной и теоретической поглощенной дозы в воздухе над поверхностью воды (1 – эксперимент, 2 – теория).

Сравнение экспериментальных и теоретических распределений поглощенной дозы по глубине в водном фантоме проведено аналогичным образом. Как известно, вблизи поверхности, измерение, выполненное ионизационной камерой, не может считаться корректным, поскольку там не соблюдается условие электронного равновесия. Нормированные на глубину 2 см экспериментальные и теоретические результаты приведены на рисунке 3 для напряжения 63 кВ. Нормированные расчетные и экспериментальные значения кермы в водном фантоме достаточно удовлетворительно согласуются друг с другом.

Авторы благодарны Гацкевичу Г.В. за обеспечение и проведение измерений в РНПЦ ОМР, Миненко В.Ф. и Хрущинскому А.А. – за обсуждение результатов измерений и вычислений.

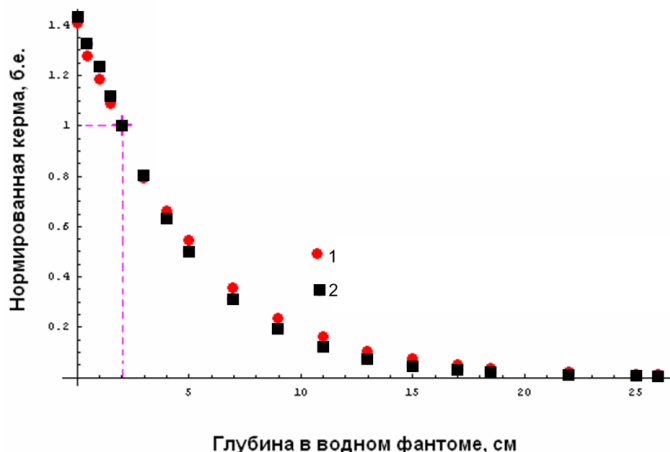


Рис. 3. Нормированные значения кермы в водном фантоме: эксперимент и теория, напряжение 63 кВ (нормировка на керму на глубине 2 см). 1 – эксперимент, РНПЦ ОМР, 2 – расчет, MCNP

#### Библиографический список

4.Boone, J. M. An accurate method for computer-generating tungsten anode X-ray spectra from 30 to 140 kV/ J. M. Boone, J. A. Seibert // Medical physics. – 1997. – Vol. 24. - №11. – p.1661-1670.

5.MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. / Briesmeister J.F., Ed. Los Alamos National Laboratory. LA-12625-M. - Los Alamos. 1997. – 736 p.

*К.О. Макаревич, студ.; рук. И.Я. Дубовская, к.ф.-м.н., доц.  
(БГУ, г. Минск)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ ОТ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ

В нейтронной лаборатории физического факультета БГУ для подготовки специалистов в области ядерной энергетики создан стенд с нейтронным генератором ИНГ-07Д. Для работы с генератором и обеспечения требуемых санитарных норм необходимо знать нейтронное поле внутри экспериментального канала, а также дозовые характеристики в защите и вне ее. Для решения поставленной задачи было про-

ведено Монте-Карло моделирование нейтронного генератора вместе с защитой с помощью программы MCNP.

В модели MCNP воспроизведена реальная геометрия генератора и его защиты. Для простоты источник нейтронов считался монохроматическим ( $E_n=2,5$  МэВ), дисковой формы. Рассчитываемой величиной был функционал F5 (плотность потока в точечном детекторе MCNP). Точечный детектор MCNP располагался на разных расстояниях от генератора, а также в нескольких точках в защите.

На рисунке 1 показано рассчитанное распределение плотности потока нейтронов в детекторе в зависимости от расстояния между генератором и детектором. Результат представлен в расчете на одну испущенную частицу. Для того чтобы получить численное значение необходимо умножить теоретическое значение на поток нейтронов, испускаемых генератором.

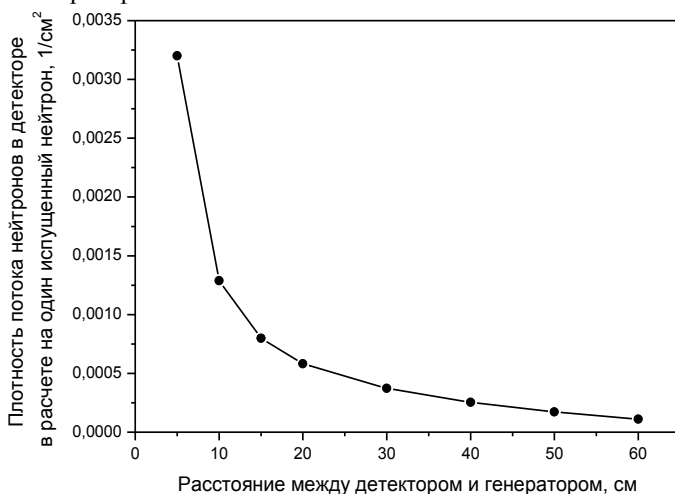


Рис. 1. Плотность потока нейтронов в детекторе MCNP в зависимости от расстояния «генератор-детектор»

Показано, что плотность потока рассеянных нейтронов, попавших в детектор, подчиняется закону  $\frac{1}{r^{1.7}}$ , где  $r$  - расстояние «источник-детектор» (см. рисунок 2).



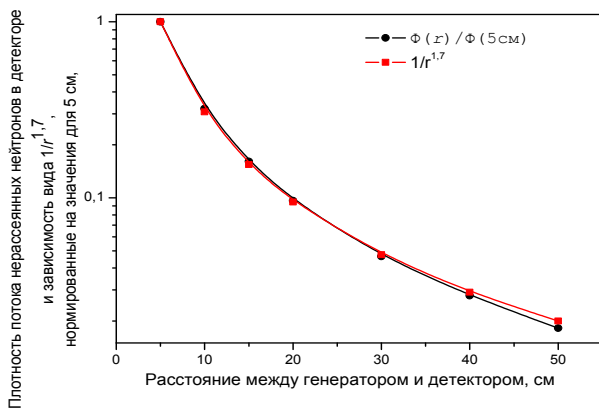


Рис. 2. Сравнение зависимости плотности потока нейтронов в детекторе «источник-детектор» и зависимости вида  $1/r^{1.7}$ , где  $r$  - расстояние «генератор-детектор»

Доля рассеянных нейтронов, попадающих в детектор, стремится к постоянной величине с увеличением расстояния «генератор-детектор» (см. рисунок 3).

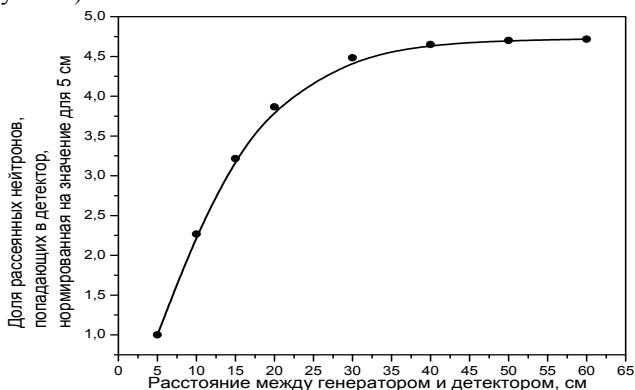


Рис. 3. Доля рассеянных нейтронов, попадающих в детектор, в зависимости от расстояния «генератор-детектор»

Таким образом, для проведения измерений детектор следует располагать на расстояниях не менее 30 см от генератора, в области, где доля рассеянных нейтронов уходит в область «насыщения» и основной вклад в исследуемый процесс вносит нерассеянное излучение, а вклад рассеянного легко учесть.

Показано, что защита генератора эффективно ослабляет (до  $10^2$  раз) мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения (см. рисунок 4).

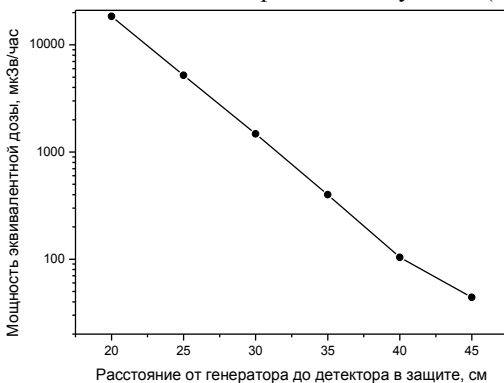


Рис. 4. Мощность эквивалентной дозы в защите генератора в зависимости от расстояния «источник-детектор»

На внешнем слое защиты мощность эквивалентной дозы составляет порядка 40-45 мкЗв/час, если генератор выдает максимально возможный поток нейтронов ( $4 \cdot 10^7$  н/с), что соответствует санитарным нормам.

#### Библиографический список

1. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. / Briesmeister J.F., Ed. Los Alamos National Laboratory. LA-12625-M. - Los Alamos. 1997. – 736 p.
2. An MCNP Primer / J. K. Shults, R. E. Faw / Dept. of Mechanical and Nuclear Engineering Kansas State University Manhattan, KS 66506. 2010.

*С. М. Ф. Хоанг, студ.; рук. В. Ф. Миненко, к.б.н., доц.  
(БГУ, г. Минск)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДАМИ МОНТЕ-КАРЛО ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Численные методы расчета переноса ионизирующего излучения, в частности методы Монте-Карло, становятся все более популярными в дозиметрии ионизирующих излучений. Очень часто только этими методами можно рассчитать определенные характеристики, например распределение поглощенной дозы в теле человека при медицинском, техногенном или аварийном облучении. Развитие вычислительной

техники в последние десятилетие и наличие практических задач стимулировало создание весьма эффективных кодов, таких как EGS [1], GEANT [2], MCNP [3] и многих других.

Для реализации метода Монте-Карло используется пакет программ MCNP [3]. Пакет предназначен для моделирования методами Монте-Карло процессов прохождения нейтронного, гамма- и бета - излучений через вещество. Для выполнения задачи MCNP требуется стандартный входной файл (так называемый inp-файл, состоящий из совокупности вышеуказанных частей (cards)), в котором полностью описывается геометрия проблемы, вещества, входящие в задачу, источник частиц и методы получения выходных данных и спектров.

Моделирование ситуации рентгенологического обследования тела человека проходит в несколько этапов: моделирование источника рентгеновского излучения, моделирование переноса рентгеновского излучения и моделирование тела человека с его структурой. В качестве источника рентгеновского излучения использована полуэмпирическая модель TASMIP источника излучения рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом, работающей в диапазоне анодных напряжений 30 - 140 кВ [4]. Эта модель наиболее подходит для расчета дозовых нагрузок для типичных рентгенодиагностических исследований.

В качестве модели тела человека был создан воксельный фантом на основе томографических изображений антропоморфного физического фантома взрослого человека типа Алдерсона-Рендо, состоящего из трех типов тканей (легочная, мягкая, костная) [5]. Создание математических детских воксельных фантомов основано на преобразовании соответствующего взрослого фантома.

Ввиду большого объема информации и сложности ее приготовления для создания input-файла была разработана специальная программа в пакете Mathematica.

Для расчета пространственного распределения поглощенной дозы разработана специальная техника ускоренного счета (ТУС) в коде MCNP [6]. Она может быть применена только для решения ограниченного круга задач в решеточной геометрии, состоящей из правильных гексагонов. Кроме соблюдения примерно 10 достаточно нетривиальных условий ее применения, она требует специального приготовления входного файла и может работать только с трековым функционалом F4, описывающим решеточную систему [6]. Тем не менее, эти ограничения оправдывают применение ТУС – это дает выигрыш во времени счета от 50 до 100 раз.

В рамках ТУС для каждого файла нами рассчитывается поглощенная доза в сети точечных детекторов, расположенных на разных рас-

стояниях от точки входа пучка в тело по направлению пучка. Запуск входных файлов при моделировании и формирование пространственного распределения поглощенной дозы в фантоме осуществляется с помощью специально созданного Perl скрипта.

Проведены расчеты распределений поглощенной дозы для разных возрастных групп и различных условий облучения. Одно из таких распределений приведено на рисунке для фантома ребенка в возрасте 1 год. На рис. 1 показано изображение изолиний дозового распределения в поперечном сечении тела на высоте  $z=18.85$  см вдоль рентгеновского пучка для задне-передней проекции процедуры облучения легких.

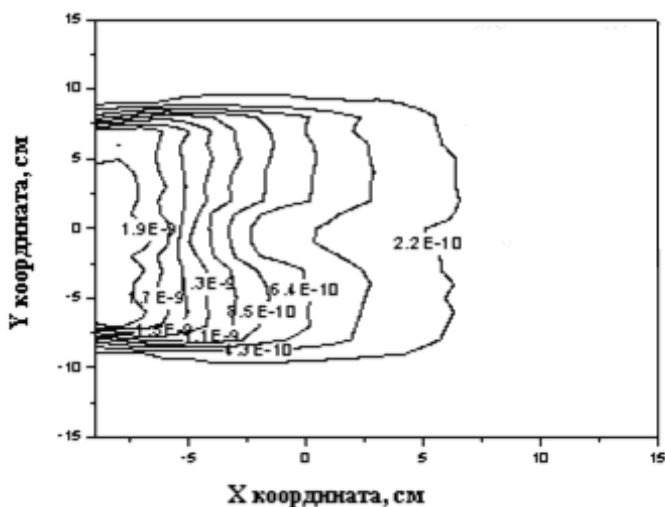


Рис. 1. Изодозное распределение рентгеновского излучения в поперечной плоскости фантома годовалого ребенка

Изодозы представлены в единицах мощности эквивалентной дозы на испущенный источником фотон рентгеновского излучения. Условия облучения: РИП 100 см, напряжение 70 кВ, поле облучения 18x24 см, дополнительный фильтр 2,5 мм Al. Изображение представлено в правой декартовой системе координат, связанной с фантомом. Начало координат располагается на оси симметрии тела на макушке, ось Z направлена от головы к ногам. Координаты центра пучка составляют  $-10 \times 0 \times 18,85$  см. Высота  $z=18,85$  см практически соответствует высоте расположения легких годовалого ребенка. Выпуклости изодоз

на рисунке соответствуют левому и правому легким. В целом картина изолиний достаточно симметрична относительно центра пучка. При изменении напряжения на трубке картина качественно не меняется.

Проведено сравнение экспериментальных и рассчитанных распределений поглощенной дозы в фантоме Алдерсона-Рендо с использованием в качестве детекторов излучений термолюминесцентных детекторов LiF дозиметра ДТУ-01. Облучение фантома проводилось на рентгеновском аппарате «КОСМОС-535» для различных режимов работы аппарата и областей облучения фантома.

Получено удовлетворительное согласие между расчетными и измеренными данными.

Авторы благодарны Гацкевичу Г.В. за обеспечение и проведение измерений, Кутеню С.А. и Хрущинскому А.А. – за помощь и обсуждение результатов измерений и вычислений.

#### Библиографический список

1. **Nelson W.R.** The EGS Code System. Report SLAC-265/ Nelson W.R., Hirayama H. and Rogers W.O. Stanford: SLAC. 1985.
2. **GEANT-4** User Guide: <http://geant4.web.cern/geant4>
3. **MCNP- A** general Monte Carlo N-particle transport code, Version 4A. Report LA-12625-M. / Bristmeister J. F., Ed. – Los Alamos: LANL. 1993. – 736 pp.
4. **Boone J.M.** An accurate method for computer-generating tungsten anode x-ray spectra from 30 to 140 keV. // Med. Phys. 24(1), 1661-1670 (1997).
5. **Minenko V.** Assessment of patient doses in X-ray diagnostics. / V.Minenko, Viarenich, S.Kutsen and A.Khrutchinsky // Int. J. Low Radiation. - 2010. - Vol. 7. - No. 2. - p.140-148.
6. **Goorley T.** MCNP5 Tally Enhancement for Lattices. Research Notes, X-5-RN(U)04-20. Los Alamos: LANL. 2004.

## СОДЕРЖАНИЕ

*Секция 9. Экономичность, надежность и безопасность атомных электрических станций*

|   |    |
|---|----|
| <i>Сармиенто С.С.</i> Торий в ядерном топливном цикле реакторов на тепловых нейтронах. Рук. <i>Ильченко А.Г.</i>  | 3  |
| <i>Лоншаков Н.А.</i> Исследование возможности повышения эффективности влажнопаровых турбин АЭС на основе нейросетевой технологии. Рук. <i>Горбунов В.А., Андрианов С.Г.</i>   | 8  |
| <i>Сироткина А.Л.</i> Работа водоохлаждаемого реактора на сверхкритических параметрах теплоносителя с переменной мощностью. Рук. <i>Лоцаков И.И.</i>  | 12 |
| <i>Башлыков Д.О.</i> Оценка целесообразности использования пускорезервных котельных для выработки дополнительной мощности на АЭС. Рук. <i>Хрусталева В.А.</i>   | 16 |
| <i>Лапшин М.Р.</i> Подготовка данных для проведения диагностики состояния ГЦН 3-го блока Калининской АЭС. Рук. <i>Лескин С.Т., Скоморохов А.О.</i>  | 19 |
| <i>Лапшин М.Р.</i> Диагностика состояния ГЦК Калининской АЭС по данным технологического контроля. Рук. <i>Лескин С.Т., Скоморохов А.О.</i>  | 23 |
| <i>Варенцов А.В., Сорокин В.Д., Рослая М.К.</i> Экспериментальные исследования локального массообмена теплоносителя за поясом перемешивающей решетки ТВС-КВАДРАТ реактора РWR с дефлектором «косого гиба». Рук. <i>Хробостов А.Е.</i> | 26 |
| <i>Бородин В.Е., Доронков Д.В., Нефедов А.А.</i> Анализ распределения осевой скорости потока теплоносителя в ТВС реактора КЛТ-40С с использованием программы «КАНАЛ». Рук. <i>Хробостов А.Е.</i>                                      | 31 |
| <i>Баринин А.А., Добров А.А.</i> CFD-моделирование течения теплоносителя во фрагменте тепловыделяющей сборки реактора КЛТ-40С. Рук. <i>Дмитриев С.М.</i>  | 35 |
| <i>Исаев М.Ш., Галыня С.И.</i> Безопасность БелАЭС. Рук. <i>Карницкий Н.Б.</i>  | 39 |
| <i>Гришин А.Л., Лоншаков Н.А., Хлестаков А.В.</i> Разработка интерактивной программы предварительного расчета паровой турбины. Рук. <i>Шошин В.Г.</i>   | 41 |
| <i>Алиакберов Е.Э.</i> Разработка учебной системы автоматизированного проектирования паровых турбин. Рук. <i>Работаев В.Г.</i>  | 45 |
| <i>Седов Д.В.</i> Повышение термодинамической эффективности   | 49 |

---

|   |    |
|---|----|
| двухконтурных АЭС с помощью цикла двух давлений с установкой предвключенного цилиндра. Рук. Ильченко А.Г.   |    |
| Чернов О.В. Модернизация системы промежуточной сепарации и перегрева пара на энергоблоках с турбиной К-1000-60/3000. Рук. Андрианов С.Г.                                | 52 |
| Барков Е.В. Мероприятия по продлению срока службы 4-го блока Нововоронежской АЭС Рук. Андрианов С.Г.  | 53 |
| Чубко Н.В. Приближенные методы математического моделирования нестационарного теплообмена в активной зоне реактора. Рук. Пучков В.Н.                                     | 56 |
| Плузян К.Г. Применение метода Монте-Карло в нейтронной физике. Рук. Семенов В.К.  | 60 |
| Петров П.В., Шлыков О.Ю. Особенности сепарации пара в парогенераторах ПГВ-1200МКП. Рук. Токов А.Ю.  | 63 |
| Кашин Д.Ю. Развитие методики оценки состояния оборудования АЭС по данным периодических испытаний. Рук. Лескин С.Т.  | 64 |
| Деревянко О.В. Анализ возможности использования композиционной конструкции турбопривода насоса для аварийной подачи воды в основное оборудование АЭС. Рук. Королев А.В. | 67 |
| Гудеменко Д.В. Моделирование процесса фрагментации капли кориума в воде. Рук. Мелихов В.И.  | 69 |
| Климов П.С. Анализ фрагментации капель кориума в натрии. Рук. Мелихов О.И.  | 75 |
| Разуваев Н.О. Технологическая система аварийного питания парогенераторов как объект для разработки КОС. Рук. Булавкин Г.В.  | 79 |
| Алейник А.О.. Технологическая система гидроиспытаний трубопроводов и оборудования ПТУ К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. Рук. Булавкин Г.В.                  | 81 |
| Алейник А.О. Система предупреждения и ликвидации аварий турбинного оборудования ПТУ К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. Рук. Булавкин Г.В.                    | 82 |
| Железов. Н.С. Технологическая система маслоуплотнения вала генератора турбоагрегата К-1000-60/3000 как объект для разработки КОС. Рук. Булавкин Г.В.                    | 84 |
| Соловьев А.Г. Физическое и математическое обоснование теплогидравлической модели понятийного тренажера реактора ЭГП-6. Рук. Чусов И.А.                                  | 85 |
| Глушаков Д.А., Алхутов Е.В., Зуборев Е.В., Тревгода М.М.  | 89 |

## Содержание

---

|   |     |
|---|-----|
| Концепции реакторных установок малой и средней мощности. Рук. <i>Авдеев Е.Ф., Чусов И.А.</i>  |     |
| <i>Сметанин А.В.</i> Технологическая система маслоаппаратной огнестойкого масла энергоблока №3 Калининской АЭС как объект для разработки КОС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>   | 94  |
| <i>Сметанин А.В.</i> Технологическая система маслоаппаратной блочной насосной станции энергоблока №3 Калининской АЭС как объект для разработки КОС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>   | 96  |
| <i>Виноградов М.Б.</i> Разработка КОС по технологической системе шариковой очистки трубок конденсаторов турбины К-1000-60/3000 энергоблока №3 Калининской АЭС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>  | 98  |
| <i>Виноградов М.Б.</i> Разработка КОС по технологической системе предочистки конденсаторов турбины К-1000-60/3000 энергоблока №3 Калининской АЭС. Рук. <i>Булавкин Г.В.</i>   | 99  |
| <i>Вольман М.А.</i> Комплекс обучающих программ и численные эксперименты симуляции технологических процессов блока АЭС с реактором ВВЭР-1000. Рук. <i>Семенов В.К.</i>  | 101 |
| <i>Спорышев М.А.</i> Моделирование и исследование системы компенсации давления первого контура энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000. Рук. <i>Вольман М.А.</i>  | 103 |
| <i>Угрюмов М.М.</i> Создание и исследование виртуальной модели системы продувки-подпитки первого контура энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000. Рук. <i>Вольман М.А.</i>  | 104 |
| <i>Шеберстов П.С.</i> Анализ характеристик АЭС с ВТГР, работающих по бинарному циклу. Рук. <i>Ильченко А.Г.</i>   | 106 |
| <i>Сальников П.С.</i> Повышение безопасности энергоблоков АЭС в условиях полного обесточивания станции. Рук. <i>Ильченко А.Г.</i>   | 110 |
| <i>Груздев С.В., Черкашин И.Р.</i> Компьютерное моделирование кинетики реактора ВВЭР-1000 с температурными обратными связями по топливу и теплоносителю. Рук. <i>Семенов В.К.</i>   | 113 |
| <i>Теплов А.М., Шуняев А.Е.</i> Компьютерное моделирование пуска холодного реактора. Рук. <i>Семенов В.К.</i>   | 115 |
| <i>Лукеркина Д.С., Медников Д.А., Соловьев И.М.</i> Компьютерное моделирование работы реактиметра. Рук. <i>Семенов В.К.</i>   | 116 |
| <i>Шакиров Р.Р., Мечтаева М.Н.</i> Определение дифференциальных и интегральных эффективностей групп ОР СУЗ и коэффициента реактивности по концентрации борной кислоты в реакторе на МКУ мощности реактора. Рук. <i>Семенов В.К.</i> | 118 |



---

|  |     |
|--|-----|
| <i>Кочергин А.О.</i> Разработка КОС по технологической системе расхолаживания энергоблока ВВЭР-1000 с ПТУ К-1000-60/3000 через технологический конденсатор (ТК).<br><i>Рук. Булавкин Г.В.</i>                        | 120 |
| <i>Кочергин А.О.</i> Разработка КОС по системе запорной, регулирующей и предохранительной арматуры энергоблока №3 Калининской АЭС.<br><i>Рук. Булавкин Г.В.</i>  | 122 |
| <i>Миронов А.П.</i> Технологическая система противопожарного водоснабжения энергоблока №3 Калининской АЭС как объект для разработки КОС.<br><i>Рук. Булавкин Г.В.</i>  | 124 |
| <i>Миронов А.П.</i> Технологическая система промконтур охлаждения отборов проб энергоблока №3 Калининской АЭС как объект для разработки КОС.<br><i>Рук. Булавкин Г.В.</i>  | 126 |
| <i>Хан Н.А., Груздев С.В.</i> Применение газотурбинных установок на АЭС с ВВЭР.<br><i>Рук. Ильченко А.Г.</i>   | 128 |
| <i>Хохлов Н.И.</i> Образование водорода при взаимодействии алюминиевого сплава САВ-1 с водными растворами различного химического состава, при температурах ниже 100 °С.<br><i>Рук. Белозеров В.И., Милинчук В.К.</i> | 132 |
| <i>Кашин Д.Ю.</i> Современные подходы к построению цифровых фильтров для контроля технологических параметров АЭС.<br><i>Рук. Лескин С.Т.</i>   | 134 |

### *Секция 10. Теплообмен в промышленных установках*

|  |     |
|--|-----|
| <i>Никитин А.А.</i> Производство термогаза в термическом реакторе блочно-модульного типа.<br><i>Рук. Горинов О.И.</i>  | 138 |
| <i>Цветкова М.С.</i> Теплотехнология автономного энергообеспечения на основе термического реактора в блочно-модульном варианте.<br><i>Рук. Горинов О.И., Колибаба О.Б.</i> | 139 |
| <i>Сумина А.С.</i> Технология глубокой утилизации низкопотенциальной тепловой энергии.<br><i>Рук. Горинов О.И.</i>   | 140 |
| <i>Сметанин К.Е.</i> Модернизация блочных паровых котлов применительно к отоплению их термогазом.<br><i>Рук. Горинов О.И.</i>  | 141 |
| <i>Черный Д.А.</i> Теплотехнология автономного энергообеспечения на основе термического реактора в стационарном режиме.<br><i>Рук. Горинов О.И.</i>                        | 142 |
| <i>Лопатина М.В.</i> Исследование процесса обжига кирпича в туннельной печи с применением прибора ДАТАРАQ.<br><i>Рук. Колибаба О.Б.</i>                                    | 143 |
| <i>Лопатина М.В.</i> Исследование процесса сушки кирпича в тун-  | 147 |

|   |     |
|---|-----|
| нельной печи с применением прибора CERIDRAY.<br><i>Рук. Колибаба О.Б.</i>   |     |
| <i>Власова В.А.</i> Энергоснабжение в Германии на основе биогаза.<br><i>Рук. Самышина О.А.</i>  | 148 |
| <i>Муратова Т.В.</i> Экспериментальное определение влажности<br>слоя твердых бытовых отходов в процессе его сушки.<br><i>Рук. Габитов Р.Н.</i>  | 150 |
| <i>Долинин К.А.</i> Математическое моделирование элементов газо-<br>проводов с использованием программного модуля ANSYS<br>FLUENT. <i>Рук. Долинин Д.А.</i>   | 151 |
| <i>Коршунов Д.М., Поцелуев А.А.</i> Исследование рабочих процес-<br>сов в газовых утилизационных бескомпрессорных турбма на<br>основе программного комплекса ANSYS CFX. <i>Рук. Нагорная<br/>О.Ю.</i>           | 152 |
| <i>Перевезенцев Г.А.</i> Методика моделирования температурных<br>полей насыпных садов в термических печах.<br><i>Рук. Горбунов В.А., Колибаба О.Б.</i>  | 154 |
| <i>Андреев А.В.</i> Исследование совместной работы двухзонной<br>методической печи и петлевого рекуператора в вычислитель-<br>ном комплексе ANSYS. <i>Рук. Гусенкова Н.П.</i>                                   | 158 |
| <i>Скворцов И.А.</i> Моделирование теплообменных и гидравличе-<br>ских процессов в теплообменном аппарате в ПК ANSYS. <i>Рук.<br/>Гусенкова Н.П.</i>  | 161 |
| <i>Скворцов И.А.</i> Моделирование тепловой работы кладки терми-<br>ческой печи в период загрузки-выгрузки. <i>Рук. Гусенкова Н.П.</i>  | 162 |
| <i>Ланкевич А.В.</i> Некоторые результаты экспериментального ис-<br>следования теплообмена в круглой трубе и в семистержевой<br>сборке при сверхкритических параметрах рабочего тела.<br><i>Рук. Чусов И.А.</i> | 164 |
| <i>Баринов С.Н.</i> Исследование теплообмена в закрученном пото-<br>ке. <i>Рук. Веретенников С.В.</i>   | 167 |
| <i>Соколова А.А.</i> Исследование теплообмена и его влияния на<br>процесс энергоразделения в вихревой трубе.<br><i>Рук. Пиралишвили Ш.А.</i>  | 171 |

### *Секция 11. Безопасность жизнедеятельности в техносфере*

|   |     |
|---|-----|
| <i>Иванкова Ю.А., Адамян М.Г.</i> Применение системы Dgural при<br>разработке интернет ресурса. <i>Рук. Рогожников Ю.Ю.</i> | 174 |
| <i>Кумачева Ю.В.</i> Повышение электробезопасности предприятия.   | 175 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Рук. Строев В.П.</i>  |     |
| <i>Сухорукова А.М.</i> Причины глобального изменения климата Земли. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>  | 176 |
| <i>Тиханова Ю.А.</i> Эргономические особенности рабочего места оператора КЦ ТЭЦ. <i>Рук. Строев В.П.</i>   | 180 |
| <i>Черемисова Н.В.</i> Ветрогенераторы и их воздействие на окружающую среду. <i>Рук. Рогожников Ю.Ю.</i>   | 181 |
| <i>Тартин А.В.</i> Методы и средства индивидуальной защиты и личной гигиены на АЭС. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>  | 183 |
| <i>Малахова К.С.</i> Техногенная опасность и охрана труда при эксплуатации масляного хозяйства ТЭЦ. <i>Рук. Чернов К.В.</i>  | 186 |
| <i>Павлова Н.Е.</i> Техногенная безопасность и охрана труда при производстве продукции в ООО «Проектно-производственное объединение «ДОМ». <i>Рук. Чернов К.В.</i>           | 187 |
| <i>Тихомолова Д.М.</i> Техногенная опасность и охрана труда при эксплуатации водородного хозяйства ТЭЦ. <i>Рук. Чернов К.В.</i>  | 188 |
| <i>Безруков П.В.</i> Проблемы электромагнитной безопасности мобильной связи. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>   | 188 |
| <i>Крупина А.Н.</i> Белки как основа жизни и здорового состояния организма. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>  | 192 |
| <i>Сахаров И.Е.</i> О применении программной среды статистической обработки данных R к обработке результатов ХАРГ силовых трансформаторов. <i>Рук. Овсянников Д.И.</i>       | 197 |
| <i>Кумачева Ю.В.</i> Биотехнологии панацея или зло для цивилизации. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>  | 199 |
| <i>Гулина С.В.</i> Анализ подходов к нормированию электромагнитного воздействия. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>   | 203 |
| <i>Ащаулова В.С.</i> Значение заменимых аминокислот для организма человека. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>  | 207 |
| <i>Золотаева Д.Н.</i> Зависимость состояния организма от жирового обмена. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>  | 211 |
| <i>Крупина А.И.</i> Незаменимые аминокислоты – фактор устойчивой жизнедеятельности. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>  | 215 |
| <i>Ащаулова В.С.</i> Влияние углеводного обмена на здоровье людей. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>   | 219 |
| <i>Романишин С.И., Степанов Д.А.</i> Информационные технологии для эффективного управления человеческими ресурсами с точки зрения безопасности труда. <i>Рук. Попов Г.В.</i> | 224 |
| <i>Асафьева Ю.А.</i> Анализ математических моделей и методов оценки профессионального риска. <i>Рук. Пышненко Е.А.</i>   | 226 |
| <i>Черная Е.Ю.</i> Оценка профессионального риска профессии  | 229 |

## Содержание

---

|  |     |
|--|-----|
| «Моторист бетоносмесительных установок».<br><i>Рук. Горбунов А.Г.</i>  |     |
| <i>Посьлина А.А.</i> Оценка профессионального риска формовщика железобетонных изделий и конструкций. <i>Рук. Горбунов А.Г.</i>                             | 232 |
| <i>Романишин С.И., Степанов Д.А.</i> Разработка методического обеспечения по использованию тренажера «Ambu Man» в учебном процессе. <i>Рук. Попов Г.В.</i> | 235 |
| <i>Белозёрова А.Е., Манучарян Э.С.</i> Разработка информационного Интернет портала по техногенной безопасности. <i>Рук. Рогожников Ю.Ю.</i>                | 236 |
| <i>Золотаева Д.Н.</i> Рациональное питание – устойчивое развитие организма человека. <i>Рук. Мельцаев И.Г.</i>   | 237 |
| <i>Горшкова М.В.</i> Причины развития онкозаболеваний в Ивановской области. <i>Рук. Попов Г.В.</i>   | 240 |
| <i>Грошева Н.В.</i> Оценка возможностей компьютерных программ для расчета рассеивания выбросов в учебных курсах. <i>Рук. Горбунов А.Г., Соколов А.К.</i>   | 243 |
| <i>Борисова А.С.</i> Зависимость концентрации вредных веществ от характеристики русла реки. <i>Рук. Соколов А.К.</i>                                       | 246 |
| <i>Некрасова Ю.С.</i> О способах снижения опасности твердых бытовых отходов. <i>Рук. Соколов А.К.</i>  | 249 |
| <i>Гусейнова А.А.</i> Схема подготовки бакалавров по техносферной безопасности. <i>Рук. Попов Г.В.</i>   | 253 |
| <i>Кузьмина Е.М.</i> Анализ возможности использования известных компьютерных программ в курсе «Экология». <i>Рук. Соколов А.К.</i>                         | 254 |
| <i>Гусева Е.Н.</i> Оценка погрешности расчета ПДВ без учета взаимосвязи расходов вещества и газов. <i>Рук. Соколов А.К.</i>                                | 258 |
| <i>Шарова Д.С.</i> Игрофикация, как одно из направлений повышения безопасности труда. <i>Рук. Попов Г.В.</i>   | 261 |
| <i>Ивакина Е.А.</i> Свойства рабочей одежды из различных типов тканей. <i>Рук. Соколов А.К.</i>  | 262 |

Секция 12. Моделирование физических процессов

- Алтухов Ю.В. Математическое обоснование модели течения теплоносителя в активных зонах реакторных установках средней и малой мощности. Рук. Чусов И.А., Тревгода М.М. 267
- Зуборев Е.В. Математическая модель течения теплоносителя со сверхкритическими параметрами на основе высших приближений метода Чепмена-Энскога. Рук. Тревгода М.М., Чусов И.А. 270
- Варсеев Е.В. Исследование массообмена в охлаждаемом канале с натрием. Рук. Алексеев В.В. 274
- Мусаева Д.А. Анализ влияния частоты пульсаций силы электромагнитного поля на время затухания турбулентных вихрей в металле в тигле индукционной печи. Рук. Ильин В.К. 278
- Тараканов И.А. Моделирование радиационной проводимости в полупроводниковых приборах. Рук. Марков М.Б. 281
- Воронков А.А., Пешиненко К.В. Лабораторный тензодатчик для измерения малых давлений. Рук. Дмитриев М.В., Журавлёв Е.В. 285
- Егорова Е.С. Аппроксимация осветительных ламп накаливания моделью абсолютно чёрного тела. Рук. Кабанов О.А. 287
- Дмуховская А.В., Малков В.А., Фадеева М.С. Исследование магнитных полей простых объектов с помощью программного пакета Radia. Рук. Шмелёва Г.А. 289
- Окулова П.Н., Соловьёв И.М. Демонстрация работы трансформатора Тесла в общем курсе физики. Рук. Пророкова Н.В., Шмелёва Г.А. 291
- Учеваткин Д.А. Магнитное поле усеченного конуса с однородной намагниченностью. Рук. Розин Е.Г. 293
- Дрязгов Д.Е., Кузнецова Д.Д., Лебедев З.С. Разработка динамически подключаемой библиотеки для виртуального практикума по физике. Рук. Тихонов А.И. 293
- Северюгов Д.М. Разработка имитационной модели статического электрического поля. Рук. Тихонов А.И. 298
- Шмелёв А.С. Разработка модели стационарного магнитного поля на основе закона Био-Савара-Лапласа. Рук. Тихонов А.И. 303
- Зайцев А.С. Решение обратных задач в технике комбинированием традиционных и генетических алгоритмов. Рук. Тихонов А.И. 308
- Корнев И.А. Моделирование элементов электрической цепи с динамической структурой. Рук. Тихонов А.И. 313
- Ничипорчук А.О., Жуковский А.И., Крук С.В. Использование Монте-Карло моделирования в ходе создания гамма- 314

## Содержание

---

спектрометра МКС-АТ6101ДР. Рук. Кутень С.А.

- Комар Д.И.* Монте-Карло моделирование процессов транспорта нейтронов для коллиматора тепловых нейтронов. Рук. Кутень С.А. 319
- Веренич К.А.* Образование вторичных нейтронов в пучке тормозного излучения медицинского линейного ускорителя электронов. Рук. Миненко В.Ф. 321
- Макаревич К.О.* Монте-Карло моделирование дозиметрических измерений с помощью ионизационной камеры. Рук. Кутень С.А. 324
- Макаревич К.О.* Моделирование нейтронного поля от нейтронного генератора в экспериментальном канале. Рук. Дубовская И.Я. 328
- Хоанг С.М.Ф.* Моделирование методами Монте-Карло доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях. Рук. Миненко В.Ф. 331

# **ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**

**ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2014»**

## **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Том 2**

*Составитель Ильченко А.Г.  
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.  
Подписано в печать . . . . . Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л.

Тираж 160 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический  
университет им. В.И. Ленина»

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.