

**Министерство науки и высшего  
Образования Российской Федерации**

**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»**

**МАТЕРИАЛЫ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«Актуальные проблемы развития  
науки, техники, экономики»**

Иваново 2019

## **Научный комитет:**

Председатель - д.т.н., проф., проректор по НР Тютиков В.В.  
Крайнова Л.Г. - к.т.н., декан ЭМФ;  
Мурзин А.Ю. - к.т.н., доц., декан ЭЭФ;  
Плетников С.Б. - к.т.н., доц., декан ТЭФ;  
Андрианов С.Г.- к.т.н., доц., декан ИФФ;  
Маршалов Е.Д. - к.т.н., декан ИВТФ;  
Карякин А.М.- д.э.н., проф., декан ФЭУ.

### **СОДЕРЖАНИЕ**

Секция 1. Информационные системы.....	3
Секция 2. Энергетика.....	48
Секция 3. Электромеханика.....	107
Секция 4. Гуманитарные науки.....	130

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Ивановский государственный энергетический университет,  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, д.34  
*E-mail: gvozdevs@inbox.ru<sup>1</sup>*

## Менеджмент информационных ресурсов предприятия

**Аннотация.** Результаты исследований позволили установить возрастающую роль информационного менеджмента в социально-экономических системах. В статье показано, что в настоящее время задачам управления информационными ресурсами не уделяется достаточно внимания. Предложенные в статье принципы и методы управления информационными ресурсами заложены в основу разработки программного инструментария информационного менеджмента. При этом показано, что эффективность рассмотренных методов и средств достигается только при комплексном и методичном их применении в решении задач мониторинга и анализа всех информационных ресурсов предприятия.

**Ключевые слова:** информационный менеджмент, информационные ресурсы, эффективность информационной деятельности, мониторинг, анализ эффективности.

T.V. GVOZDEVA<sup>1</sup>, Ph.D. in Economics  
A.A. BELOV, Ph.D. in Technology  
A.L. PADYLINA, Ph.D. in Philosophy

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003, Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
*E-mail: gvozdevs@inbox.ru<sup>1</sup>*

## Enterprise management of information resources

**Abstract.** Results of the research have established the increasingly larger role of information management in socioeconomic systems. The article presents that not enough attention is paid to the tasks of information resources management. The principles and methods of information resources management proposed in the article are the basis for software development. The effectiveness of the considered methods and tools is achieved in integrated application, which allows to be used in monitoring and analysis of all information resources of the enterprise.

**Keywords:** information management, information resources, performance of information activity, monitoring, performance analysis.

Для основных областей деятельности – финансы, логистика, производство и т.д. в настоящее время созданы, широко применяются и

постоянно актуализируются типовые модели менеджмента, включающие шаблоны организационных структур, бизнес-процессов, правил принятия решений и пр. Они заложены в стандарты MRP, ERP, СМК (системы менеджмента качества) и др. В области информационного менеджмента такие модели стали разрабатываться сравнительно недавно. Приведенный концептуальный анализ современных ИМ-методологий, их содержания, целей и задач, позволил прийти к следующим выводам:

- цели, функция и структура информационного менеджмента определяются целями, функциями и структурой процессов основного бизнеса и оцениваются его главными показателями (качество, эффективность, конкурентоспособность и пр.);

- эффективность информационного менеджмента во многом зависит от совершенства системы мониторинга, измерения, контроля и оценки основных показателей состояния и эффективности основных бизнес-процессов, их ресурсов и продуктов;

- адаптация основного бизнеса к актуальным экономическим правилам и условиям требует соответствующей адаптации ИМ, разработки и своевременному внедрению необходимых информационных сервисов, реорганизации корпоративных информационных систем, их программного обеспечения (принцип коэволюции);

- направленность на повышение роли цифровых средств в решении социально-экономических задач наряду с развитием реинжиниринга бизнес-процессов приводит к совершенствованию принципов и усилению роли программной инженерии.

Отмеченные выводы позволяют утверждать, что только при хорошо организованном и информационно-оснащенном информационном менеджменте возможна непрерывная и сквозная связь всех составляющих социально-экономической деятельности предприятия [3], в условиях обостряющейся конкуренции и ориентации на реализацию инновационной стратегии развития [2].

В основу деятельности информационного менеджмента должны быть заложены следующие подходы и принципы:

1. Системная методология экономического обоснования совершенствования ИС, где оценка ведется не за счет измерения информационного ресурса, а за счет измерения приращений эффективности, которые возникают при изменениях, производимых в информационной системе.

2. Системно-процессный подход и принцип «ориентации на потребителей», которые заложены в ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Эти два принципа показывают, что необходимо работать как на внешнего, так и на внутреннего потребителя.

3. Принцип оценки процессов по ресурсам, заложенный в концепциях систем управления ресурсами (ERP).

В соответствии с выделенными подходами и принципами информационный менеджмент должен базироваться на следующих методиках управления информационными ресурсами:

— системно-процессного моделирования бизнес-процессов организации, направленной на исследование структуры потребностей, которые предприятие стремится удовлетворить, в соответствии с которой осуществляется построение процессной (или говоря языком теории систем – функциональной) модели бизнес-процессов должно происходить в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 «Системы менеджмента качества. Требования» (рис. 1);

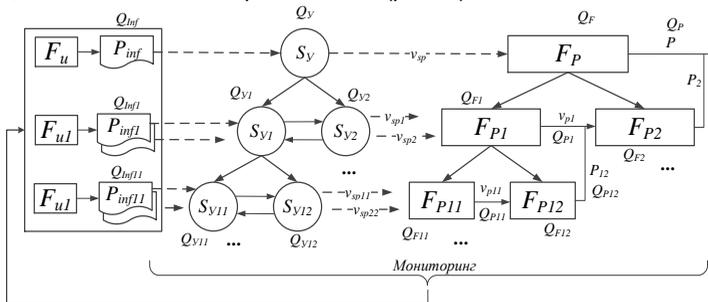


Рис. 1. Общая схема декомпозиции бизнес-процессов

— системной оценки бизнес-процессов организации, в соответствии с которой оценке подлежат следующие элементы подлежат следующие элементы: эффекты информационного обеспечения (степени удовлетворения информационных потребностей), производственные эффекты (внутренние и внешние) как степень удовлетворения потребностей потребителей производимого продукта, затраты на содержание информационной системы, затраты производственных ресурсов, параметры состояний бизнес-процессов;

Рекомендации по информационному менеджменту  
Показаны записи 1-4 из 4.

<p>Недостаточная полнота информационного обеспечения</p> <p>Процесс: <b>F1</b> Проектирование моделей</p> <p>Ответственное лицо: <b>001</b> Мастер-технолог</p> <p>Дата: 12.03.2018</p> <p>Рекомендация: Необходимо доработать содержание информационного обеспечения</p> <p>Детализация:</p> <p>Информационная потребность: <b>Inf12</b> Информация об аналогичных проектах</p> <p>Информационный продукт: <b>Pinf12</b> Отчет о моделях-аналогах</p> <p>Информационная функция: <b>Finf12</b> Поиск аналогов</p>	<p>Несвоевременное информационное обеспечение</p> <p>Процесс: <b>F2</b> Технологическая обработка</p> <p>Ответственное лицо: <b>002</b> Технолог-конструктор</p> <p>Дата: 12.03.2018</p> <p>Рекомендация: Необходимо повысить своевременность информационного обеспечения</p> <p>Детализация:</p> <p>Информационная потребность: <b>Inf22</b> Информация об технико-экономических требованиях</p> <p>Информационный продукт: <b>Pinf22</b> Отчет о технико-экономических требованиях</p> <p>Информационная функция: <b>Finf22</b> Исследование технико-экономических требований</p>
--	---

Рис. 2. Пример рекомендаций по информационному обеспечению в инструментальном средстве INFOMAN.PRO

– методика анализа эффективности информационных ресурсов организации [1], основная цель которой генерация рекомендаций по совершенствованию информационной системы (рис. 2) на основе оценки, определяемой по приращению эффективности процессов при соотношении моментов регистрации изменений в информационной системе и изменениям в динамике эффективности данных процессов.

#### **Литература**

1. **Белов, А.А.** Экономические аспекты информатизации / А.А. Белов, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2006. – 96 с.

2. **Баранчев, В.П.** Управление инновациями: учебник / В.П. Баранчев, Н.П. Масленникова, В.М. Мишин. – М.: Издательство Юрайт; НД Юрайт, 2011.-711с.

3. **Информационный менеджмент.** Оценка уровня развития информационных систем: монография / А. В. Костров; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. - 125 с.

УДК 005.3:004

Н.Н.Елизарова, к.т.н., доцент

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, Рабфаковская, 34  
E-mail: elisarova@it.ispu.ru

### **Методика оценки организованности социально-экономических систем**

**Аннотация.** В работе приведена методика оценки организованности социально-экономических систем, основанная на энтропийном подходе, которая может быть использована в целях повышения эффективности управления.

**Ключевые слова:** организация, энтропия, количество информации, оценка организованности.

N.N.Elizarova, candidate of technical sciences, assistant professor

Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: [elisarova@it.ispu.ru](mailto:elisarova@it.ispu.ru)

### **METHODOLOGY FOR ASSESSING THE ORGANIZATION OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS**

**Annotation.** The paper presents a methodology for assessing the organization of socio-economic systems, based on the entropion approach, which can be used to improve management efficiency.

**Keywords:** organization, entropy, amount of information, organization assessment.

Для организации эффективного управления любой социально-экономической системой и автоматизации информационных процессов необходимо анализировать потоки информации, производить их оценку и оптимизацию. Одной из сторон повышения эффективности управления является четко отлаженные связи между людьми, согласованность их действий и способности понимать друг друга, т.е. за счет организации совместного труда. Таким образом, организация рассматривается как внутренняя согласованность, упорядоченность деятельности людей, так и совокупность целенаправленных процессов или действий, ведущих к образованию необходимых связей.

Методика анализа и оценки организационных систем включает этапы.

1. С позиции системного анализа [1] описать социально-экономическую систему  $S$ , выделив:

- цель ( $Z$ ) и основные функции системы  $F=\{F_1, \dots, F_n\}$ ,
- ее состав (элементы)  $S=\{S_1, \dots, S_m\}$  (в качестве таких элементов могут быть как техническое оборудование, так и персонал участвующие в рассматриваемом производственном процессе);
- связи между элементами  $L_{внут}=\{L_1, \dots, L_k\}$ , взаимодействие с внешней средой  $L_{внеш}=\{L_{e1}, \dots, L_{es}\}$ .

2. Описать представление состояний системы, задав критерии оценки состояния системы для каждого элемента  $S_i$ :  $\{q_{i1}, \dots, q_{iv_i}\}$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ .

3. Для каждого оцениваемого элемента  $S_i$  собрать данные:

- 1) нормативное значение критериев ( $q_{ni}$ ),  $j=1, 2, \dots, v_i$
- 2) значения критериев  $\{q_{ij}\}$  в конкретный момент времени или для различных состояний (табл. 1).

Таблица 1. Оценивание элемента  $S_i$

Признак	Нормативное значение	Значение в моменты времени			Среднее значение	Степень соответствия
		1	...	k		
$q_1$	$q_{n1}$	$q_{11}$	...	$q_{1k}$	$\bar{q}_1$	$p_1$
$q_2$	$q_{n2}$	$q_{21}$	...	$q_{2k}$	$\bar{q}_2$	$p_2$
...	...	...	...	...		
$q_v$	$q_{nv}$	$q_{v1}$	...	$q_{vk}$	$\bar{q}_v$	$p_v$

4. Для каждого признака рассчитывается среднее значение:

$$\bar{q}_{ij} = 1/v_i \sum_{j=1}^{v_i} q_{ij}, \quad i = \overline{1, m}.$$

5. Провести оценку организованности системы:  
 – рассчитать степень соответствия для каждого признака:

$$p_j = 1 - \frac{\bar{q}_j - q_{Hj}}{q_{Hj}}, j = \overline{1, v};$$

- рассчитать максимальную энтропию для данного элемента  $S_i$  при условии равновероятностном распределении признаков:

$$H_{maxi} = \log_2 v_j;$$

- рассчитать энтропию для элемента  $S_i$  при вычисленных степенях соответствия:

$$H_i = - \sum_{j=1}^{v_i} p_j \log_2 p_j;$$

- определить полученное количество информации

$$(S_i) = H_{maxi} - H_i$$

- Согласно принципу золотого сечения [2], соотношение энтропии системы и информации должно быть следующим:

$$I_i^* = 0,618 H_{maxi};$$

$$H_i^* = 0,382 H_{maxi}.$$

Исходя из полученных соотношений, можно сделать вывод о степени организованности системы. Если  $H_i > H_i^*$  и  $(S_i) < I_i^*$ , то можно сделать вывод о плохой организованности системы, что не позволяет ей функционировать в соответствии с системными принципами и обеспечивать эффективность работы.

Такой подход позволяет выделить критерии оценки организованности социально-экономических систем, оценить их соответствие нормативам и выделить критерии, наименее соответствующие требуем значениям, что позволит найти слабые стороны организации любого процесса или объекта.

### Литература

1. **Белов, Александр Аркадьевич.** Информационно-синергетическая концепция управления сложными системами: методология, теория, практика / А.А.Белов; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". – Иваново: Б.и., 2009.–424 с.
2. **Материал из Википедии** – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B5\\_%D1%81%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

УДК 004.94

Н.Н.Елизарова<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
В.Н. Куликова<sup>2</sup>, магистр

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, Рабфаковская, 34  
E-mail: elisarova@it.ispu.ru<sup>1</sup>, victorija.kulickova@yandex.ru<sup>2</sup>

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ARIS EXPRESS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Аннотация.** В работе рассмотрено использование системы ARIS EXPRESS для моделирования бизнес-процессов организации, модели которых могут быть использованы для повышения эффективности ее деятельности.

**Ключевые слова:** модель, моделирование, бизнес-процессов, система ARIS EXPRESS.

N.N.Elizarova, candidate of technical sciences, assistant professor,  
V.N. Kulikova, master

Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: elisarova@it.ispu.ru<sup>1</sup>, victorija.kulickova@yandex.ru<sup>2</sup>

## **EXPERIENCE IN USING ARIS EXPRESS SYSTEM FOR MODELING INFORMATION PROCESSES**

**Annotation.** The paper considers the use of ARIS EXPRESS system for modeling business processes of the organization, the models of which can be used to improve the efficiency of its activities.

**Keywords:** model, modeling, business processes, system ARIS EXPRESS.

Любое предприятие или фирма в условиях конкуренции стремится повысить эффективность своей деятельности. Наиболее распространенными методами являются оптимизация и автоматизация бизнес-процессов. С одной стороны для того, чтобы проанализировать, как работает предприятие в целом, как оно взаимодействует с внешними организациями, заказчиками и поставщиками, как налажено взаимодействие между подразделениями, а также как организована деятельность на каждом отдельно взятом рабочем месте применяется моделирование бизнес-процессов.

С другой стороны, при проведении разнообразных исследований и разработок, связанных с информационными системами, специалист в первую очередь имеет дело не с информационными объектами и

процессами как таковыми, а с некоторыми, в определённом смысле подобными представлениями этих сущностей, которые можно трактовать как модели объектов и процессов реального мира.

Модель бизнес-процесса – это формализованное описание, (например, графическое) определенного аспекта или сферы деятельности организации [1]. Таким образом, модель отражает реально существующую или предполагаемую деятельность организации.

В зависимости от поставленных целей перед исследованием организации, модель может давать ответы на различные вопросы:

- 1) Какие операции приносят потери, какова стоимость потерь?
- 2) Какова наиболее оптимальная организационная структура предприятия, позволяющая выполнять все функции для обслуживания клиентов?
- 3) Какие процессы дублируются и как изменить бизнес-процесс?

И т.д.

Одной из распространенных в настоящее время методологий моделирования бизнес-процессов является методология ARIS [2] и программный продукт семейства CASE-средств – ARIS EXPRESS.

Методика моделирования ARIS основывается на теории построения интегрированных информационных систем, определяющей принципы визуального отображения всех аспектов функционирования анализируемых организаций. Любая организация в методологии ARIS рассматривается с пяти точек зрения: организационной, функциональной, обрабатываемых данных, структуры бизнес-процессов, продуктов и услуг. При этом каждая из этих точек зрения разделяется ещё на три подуровня: описание требований, описание спецификации, описание внедрения.

Организация (предприятие) в бизнес-моделировании рассматривается как система  $S$ , имеющая некоторую структуру  $G$ , ориентированная на достижение реальных целей  $Z$ . В системе ARIS рассматриваются различные типы взаимосвязанных информационных моделей, которые описывают все стороны деятельности предприятия.

Моделирование предметной области организации включает последовательную разработку связанных между собой моделей:

1. *Организационная диаграмма* – иерархическая структура подразделений, должностей, полномочий, связей и отношений подчинения;

2. *Карта процессов* – структура, элементами которой являются все функции бизнес-процесса на верхних уровнях иерархии, при этом процессы верхнего уровня связываются с процессами следующего уровня;

3. *Бизнес-процесс* детально описывает процессы нижних уровней:
- деятельность, осуществляемую в ходе процесса;
  - участвующие организационные подразделения, лица, группы лиц;
  - входные и выходные данные;

–используемые ИТ-системы;  
 –события, происходящие в процессе;  
 4. Модель данных показывающая информационные элементы и связи между ними;

5. BPMN диаграмма для отображения бизнес-процессов при моделировании потоков работ, происходящих в исследуемой системе. И т.д.

Пример таких моделей, построенные на основе системного подхода и реализованные в системе ARIS для предметной области управляющая компания представлены на рис.1.

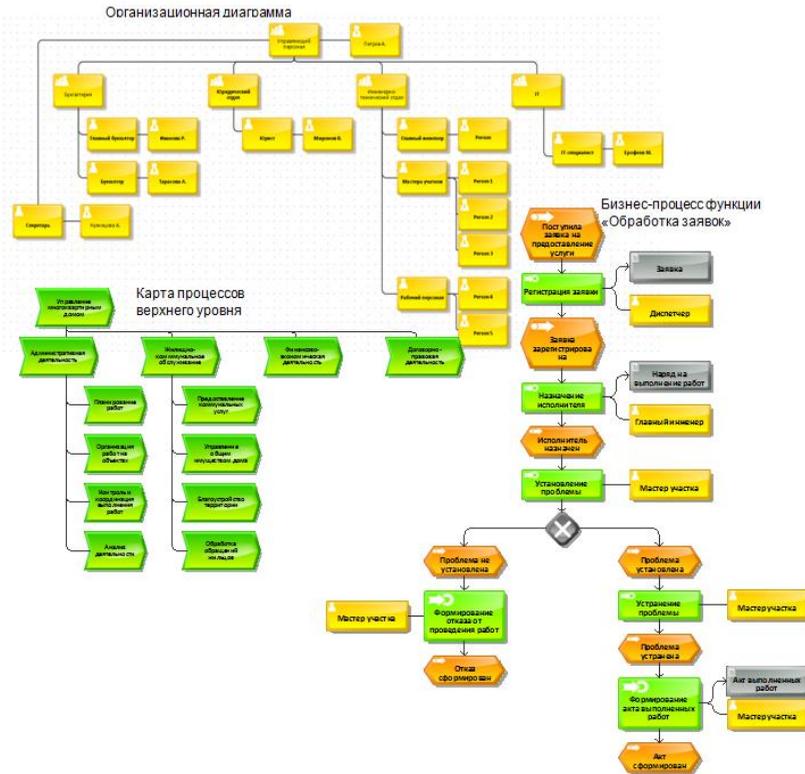


Рис.1. Информационные модели управляющей компании

Вывод: Методология ARIS предусматривает детально описать отдельные бизнес-процессы, используя постепенную детализацию подпроцессов, что позволяет аналитику отбирать и анализировать

наиболее важные для предприятия аспекты. Для крупных организаций, для внедрения системы непрерывного улучшения бизнес-процессов в соответствии со стандартами ISO система ARIS является более предпочтительной.

## Литература

1. Исаев, Р. Инструменты бизнес-моделирования и особенности его применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://www.businessstudio.ru/articles/article/instrumenty\\_biznes\\_modelirovaniya\\_i\\_osobennosti\\_ego/](https://www.businessstudio.ru/articles/article/instrumenty_biznes_modelirovaniya_i_osobennosti_ego/)

2. Назарова, О.Б. ARIS: Теория и практика бизнес-моделирования : учебное пособие / О.Б. Назарова, Т.Б. Новикова, О.Е. Масленищикова. – 2-е изд. – Москва : ФЛИНТА, 2017. – 151 с.

УДК 519.6

С.И. ШУВАЛОВ, д.т.н., профессор,  
А. Я. КОПСОВ, д.т.н., профессор,  
М.Р. ГАРИПОВ, инж.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
*E-mail:* [ShuvalovS@rambler.ru](mailto:ShuvalovS@rambler.ru)

## Алгоритм метода квадратичной интерполяции для поиска минимума унимодальной функции

**Аннотация.** В работе рассмотрен алгоритм одномерной оптимизации унимодальной целевой функции методом квадратичной интерполяции, показаны ограничения в его применении и даны рекомендации для успешного применения метода.

**Ключевые слова:** оптимизация, квадратичная интерполяция, вторая производная, алгоритм поиска.

S.I. Shuvalov, Doctor of Engineering, professor,  
A. Ya. KOPSOV Doctor of Engineering, professor,  
M.R. GARFIPOV, engineer

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
*E-mail:* [ShuvalovS@rambler.ru](mailto:ShuvalovS@rambler.ru)

## Quadratic interpolation algorithm to find the minimum of a unimodal function

**Abstract.** The paper considers the algorithm of one-dimensional optimization of a unimodal objective function by the method of quadratic interpolation, shows the

limitations in its application and gives recommendations for the successful application of the method.

**Keywords:** optimization, quadratic interpolation, second derivative, search algorithm.

Одним из методов безусловной одномерной оптимизации является метод квадратичной интерполяции, называемый также методом квадратичной аппроксимации или методом Пауэлла [1-4]. Рекомендуемый алгоритм поиска сводится к следующим операциям:

– для начала поиска задается базовая точка  $x_1$ , величина шага  $\Delta x > 0$  и допустимые погрешности в расхождении значений целевой функции  $\varepsilon_1$  и координат оптимума  $\varepsilon_2$ ;

– далее вычисляется координата второй точки  $x_2 = x_1 + \Delta x$  и в этих точках определяются значения целевой функции  $f_1 = f(x_1)$  и  $f_2 = f(x_2)$ ;

– при  $f_2 < f_1$  производится еще один шаг вперед и находится координата третьей точки по формуле  $x_3 = x_2 + \Delta x$ ;

– если  $f_2 \geq f_1$ , то выполняется шаг назад от базовой точки,  $x_3 = x_2 + \Delta x$ ;

– далее в точке  $x_3$  находится значение целевой функции  $f_3 = f(x_3)$  и по трем точкам рассчитываются коэффициенты уравнения  $y = ax^2 + bx + c$  для проходящей через эти точки параболы;

– точка минимума находится из условия равенства нулю первой производной:

$$x_{\min} = -\frac{b}{2a};$$

– так как в общем случае реальная зависимость может не совпадать с параболической, то найденное значение принимается в качестве приближения;

– далее выбираются три точки с минимальными значениями целевой функции, и операция повторяется до тех пор, пока не будет получено нулевое значение производной или новая точка минимума сместится на пренебрежимо малое расстояние относительно предыдущей.

Рассмотрим действие этого алгоритма на примере минимизации функции  $F = \cos(x)$  на интервале  $[0..4]$ . Минимум функции  $F_{\min} = -1$  находится в точке  $x_{\min} = \pi = 3,141$ . Зададим базовую точку  $x_1 = 0,5$ ; шаг  $\Delta x = 0,6$ ; допустимые погрешности  $\varepsilon_1 = 0,001$  и  $\varepsilon_2 = 0,001$ .

Для первой точки  $F_1 = \cos(0,5) = 0,878$ .

Вторая точка  $x_2 = 0,5 + 0,6 = 1,1$ ;  $F_2 = 0,454$ .

Так как  $F_2 < F_1$ , то выполняем шаг вперед и находим третью точку  $x_3 = 1,1 + 0,6 = 1,7$ . Для нее  $F_3 = -0,129$ .

Парабола, проходящая через эти три точки, описывается уравнением вида

$$y = -0,22 \cdot x^2 - 0,355 \cdot x + 1,11.$$

Точка ожидаемого минимума:

$$x_{\min} = -\frac{b}{2a} = -\frac{-0,355}{2 \cdot (-0,22)} = -0,807.$$

В этой точке  $F_{\min} = \cos(-0,807) = 0,692$ .

Действия в полном соответствии с предлагаемым алгоритмом привели, во-первых, к выходу за указанный диапазон поиска. Во-вторых, точка  $x = 0,807$  соответствует не минимуму, а максимуму аппроксимирующей функции.

Для того чтобы функция имела минимум в некоторой точке, наряду с равенством нулю первой производной необходимо, чтобы вторая производная была положительна, т.е. должен быть положительным коэффициент при квадратичном члене,  $a > 0$ .

Так как движение вдоль оси  $x$  приводит к уменьшению целевой функции, то, используя метод сканирования, делаем еще шаг и находим точку  $x_4 = 1,7 + 0,6 = 2,3$ ;  $F_4 = -0,666$ .

Уравнение параболы, проходящей через три последние точки, имеет вид:

$$y = 0,0625 \cdot x^2 - 1,146 \cdot x + 1,638.$$

В этом случае коэффициент  $a = 0,0625 > 0$ , парабола повернута вершиной вниз и имеет минимум.

Точка ожидаемого минимума:

$$x_{\min} = -\frac{b}{2a} = \frac{-1,146}{2 \cdot (0,0625)} = 9,168; F_{\min} = \cos(9,168) = -0,967.$$

Найденная точка минимума далеко выходит за ограниченный в задании диапазон поиска, поэтому снова используем метод сканирования и находим  $x_5 = 2,3 + 0,6 = 2,9$ ;  $F_5 = -0,971$ .

По последним трем точкам находим уравнение параболы

$$y = 0,323 \cdot x^2 - 2,189 \cdot x + 2,658.$$

Точка ожидаемого минимума  $x_{\min} = 3,389$ ;  $F_{\min} = -0,970$ .

По трем точкам с минимальными значениями целевой функции находим уравнение параболы

$$y = 0,469 \cdot x^2 - 2,946 \cdot x + 3,629$$

и следующую точку ожидаемого минимума  $x_{\min} = 3,3141$ ;  $F_{\min} = -1,000$ .

Из представленного примера видно, что при  $a < 0$  метод квадратичной аппроксимации непригоден, в этом случае рекомендуется использование метода сканирования.

При малом значении  $a$ , даже когда  $a > 0$ , квадратичная аппроксимация также малоэффективна. Только при  $a > 0$  и заметной кривизне аппроксимирующей кривой она обеспечивает быструю сходимость поиска к оптимуму.

В первом приближении можно поставить условие выбора метода поиска: при  $a < 0,1$  используется метод сканирования, при  $a > 0$  –

метод квадратичной аппроксимации. При этом для ускорения поиска рекомендуется выбирать значение  $\Delta x$  достаточно большим.

Сходимость метода гарантирована только в том случае, если парабола строится по трем точкам, для которых целевая функция достигает минимума в средней точке.

### Литература

1. **Банди Б.** Методы оптимизации. Вводный курс. - М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
2. **Корнеев В.П.** Методы оптимизации.- М.: Высшая школа, 2007. – 664 с.
3. **Пантелеев А.В., Летова Т.А.** - Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2005. – 544 с.
4. **Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В.** Курс методов оптимизации. – М: Физматлит, 2005. – 368 с.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
E-mail: [ShuvalovS@rambler.ru](mailto:ShuvalovS@rambler.ru)

## К моделированию движения вязкой несжимаемой жидкости на начальном участке плоского канала

**Аннотация.** В работе представлен алгоритм выбора предварительного приближения скоростей жидкости для численного расчета течения методом конечных объемов. Приведены регрессионные зависимости, аппроксимирующие профили скорости.

**Ключевые слова:** ламинарное течение, пограничный слой, начальный участок канала, метод конечных объемов.

S.I. Shuvalov, Doctor of Engineering, professor,  
A. Ya. KOPSOV Doctor of Engineering, professor,  
M.R. GARIPOV, engineer

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: [ShuvalovS@rambler.ru](mailto:ShuvalovS@rambler.ru)

## On modeling the motion of a viscous incompressible fluid in the initial section of a flat channel

**Abstract.** The paper presents an algorithm for choosing a preliminary approximation of fluid velocities for the numerical calculation of the flow by the finite volume method. Regression dependences approximating velocity profiles are presented.

**Keywords:** laminar flow, boundary layer, initial section of the channel, finite volume method.

Для начала численного расчета полей скоростей и давления методом конечных объемов для каждого конечного объема должны быть предварительно заданы давление в центре объема и скорости потока на гранях объема в точках (1),(2),(3) и (4), показанных на рис.1. Хотя точных значений скорости не требуется, сходимость расчета зависит от того, насколько удачными были заданы первые приближения.

Для входного сечения канала (точки (1) первого слоя конечных объемов по направлению основного движения) можно принять  $u_{x,1,j}^{(1)} = u_0$ ;  $u_{y,1,j}^{(1)} = 0$ . Здесь  $u_0$  – скорость невозмущенного потока, направленного по оси  $x$ .

Величина  $u_0$  может быть определена из условия  $u_0 = \frac{Q}{S}$ , где  $Q$  – объемный расход жидкости в канале,  $S$  – площадь сечения канала, если задан объемный расход, или предварительно принята, если задан перепад давления  $\Delta p = p_1 - p_2$  во входном и выходном сечениях канала с последующим уточнением при расчете.

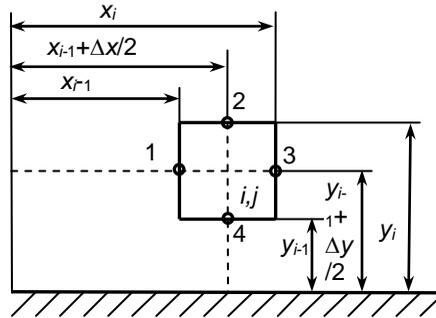


Рис. 1. Конечный объем на шахматной сетке

На стенке (точки (4) первого слоя в поперечном сечении канала) должны быть заданы условия прилипания жидкости к стенке  $u_{x,i,1}^{(4)} = 0$  и непроницаемости стенки  $u_{y,i,1}^{(4)} = 0$ .

Для оценки остальных скоростей удобно использовать методику расчета ламинарного пограничного слоя. Для сечения  $x_{i-1}$ , на котором находятся точки (1) конечных объемов на  $i$ -том и  $j$ -том слоях, определяется толщина пограничного  $\delta_{i-1}$  по формуле

$$\delta_{i-1} = \frac{5}{\sqrt{Re_x}}$$

где  $Re_x = \frac{u_0 x}{\nu}$  - значение критерия Рейнольдса, рассчитанное по скорости невозмущенного потока  $u_0$  и продольной координате  $x$ ;  $\nu$  - кинематическая вязкость жидкости.

При  $\delta_{i-1} < x_{i-1} = x_{i,j}^{(1)}$  толщина пограничного слоя оказывается меньше ординаты точки (1), в этом случае принимаются условия для невозмущенного потока  $u_{x,i,j}^{(1)} = u_0$ ;  $u_{y,i,j}^{(1)} = 0$ .

Если точка находится внутри пограничного слоя, то для нее скорости жидкости рассчитываются по формулам

$$\frac{u_x}{u_0} = f'(\eta);$$

$$\frac{u_y}{u_0} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\nu}{x u_0}} \cdot [\eta \cdot f'(\eta) - f(\eta)].$$

Здесь  $\eta = y \sqrt{\frac{u_0}{\nu x}}$  – безразмерная координата;  $f(\eta)$  – безразмерная функция тока. Значения функции тока и ее производной для ламинарного пограничного слоя в табличном виде приведены в [1].

Для точек (2), (3) и (4) значения скоростей рассчитываются по той же методике при  $x = x_{i-1} + \frac{\Delta x}{2}$  и  $y = y_{j-1}$  и  $y = y_j$  для точек (4) и (2) соответственно и при  $x = x_{i-1} + \Delta x$  и  $y = y_{j-1} + \frac{\Delta y}{2}$  для точки (3).

Для практических расчетов более удобно воспользоваться регрессионными зависимостями

$$\frac{u_x}{u_0} = -0,0383 \cdot \eta^2 + 0,3915 \cdot \eta,$$

$$\frac{u_y}{u_0} \cdot \sqrt{\frac{x u_0}{\nu}} = 0,0022 \cdot \eta^4 - 0,0362 \cdot \eta^3 + 0,1712 \cdot \eta^2 - 0,0586 \cdot \eta.$$

Пограничный слой развивается от стеки до оси канала. На расстоянии от входного сечения

$$x_{\text{осн}} = \frac{100 \cdot \nu}{u_0 \cdot H^2}$$

пограничные слои смыкаются, и можно принять, что профиль скорости далее остается неизменным.

Так как плоский канал имеет ось симметрии на высоте  $\frac{H}{2}$ , то для сокращения вычислений целесообразно ограничиться верхней или нижней половиной канала, задав на границе условие симметрии в виде  $u_{y,i,n}^{(4)} = u_{y,i,n+1}^{(2)} = 0$  и зеркально отображая значения скорости из расчетной половины канала на другую половину по формулам:

$$u_{x,i,j}^{(1)} = u_{x,i,2n+1-j}^{(1)}, \quad u_{y,i,j}^{(1)} = -u_{y,i,2n+1-j}^{(1)},$$

$$u_{x,i,j}^{(2)} = u_{x,i,2n+1-j}^{(4)}, \quad u_{y,i,j}^{(2)} = -u_{y,i,2n+1-j}^{(4)},$$

$$u_{x,i,j}^{(3)} = u_{x,i,2n+1-j}^{(3)}, \quad u_{y,i,j}^{(3)} = -u_{y,i,2n+1-j}^{(3)},$$

В цилиндрическом канале происходит более интенсивный рост толщины пограничного слоя и более неравномерный профиль скоростей [2]. Но и для такого канала можно использовать предлагаемую методику оценки полей скоростей.

При увеличении скорости потока или высоты канала ламинарный режим переходит в турбулентный, толщина пограничного слоя и профиль скоростей в слое изменяются.

Вопрос о целесообразности предлагаемой методики для предварительной оценки скоростей жидкости требует дополнительной проверки.

## Литература

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712 с.

2. **Слезкин Н.А.** Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М.:ГИТТЛ, 1955. – 520 с.

УДК 004.422.834:65.015

П.В. БУЙЛОВ<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Н.В. РУДАКОВ<sup>2</sup>, старший преподаватель  
Ивановский государственный энергетический университет имени  
В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: [bpvpahan@yandex.ru](mailto:bpvpahan@yandex.ru)<sup>1</sup>, [niklaykin@yandex.ru](mailto:niklaykin@yandex.ru)<sup>2</sup>

## **Расчёт функционального размера информационной системы для оценки сложности процесса сопровождения**

**Аннотация:** В работе представлен вариант существующей модели с определением функционального размера информационной системы, адаптированный под задачи сопровождения и эксплуатации современных систем.

**Ключевые слова:** функциональный размер системы, сопровождение, информационная система, программное средство, нечёткая логика.

P.V.BUYLOV<sup>1</sup>, Candidate of Engineering,  
N.V.RUDAKOV<sup>2</sup>, senior lecture  
Ivanovo State Power University 153003,  
Ivanovo, Rabfakovskay St., 34  
E-mail: [bpvpahan@yandex.ru](mailto:bpvpahan@yandex.ru)<sup>1</sup>, [niklaykin@yandex.ru](mailto:niklaykin@yandex.ru)<sup>2</sup>

## **Calculation of functional size of information system for valuation of complexity of the maintenance work**

**Abstract:** Paper presents the variation of model which contains calculation of functional size of information system adapted to solving tasks of maintenance working groups with nowadays information systems.

**Key words:** functional size of system, maintenance work, information system, software, fuzzy logic.

Создание информационной системы предполагает её поддержку в период последующей эксплуатации, поскольку после внедрения и интеграции ИС даже самое обстоятельное документационное обеспечение не защитит от ошибки неопытного пользователя. По этой причине после этапов разработки и интеграции систем должен следовать этап сопровождения, подразумевающий создание специализированного коллектива с последующей оценкой его

деятельности [1]. Чтобы грамотно распределять ресурсы на одну или несколько групп сопровождения, необходимо точно представлять, насколько сложная система была внедрена, и насколько значима её своевременная отладка. Подобную оценку может сформировать модель с определением функционального размера системы (ФР). Её основная идея заключается в единообразном измерении всех возможностей ИС и сведении качественной оценки её узлов к единому числу [2].

Предложенная модель является универсальной, поэтому её следует скорректировать для потребностей разработчиков информационных систем, придерживающихся системного подхода к проектированию.

Первый шаг оценки заключается в процедуре идентификации функций реализованной ИС. Модель ФР предлагает оценивать функциональность на уровне пользователя, то есть относить к функциям системы все процедуры, выполнение которых не меняет экранную форму. Данный подход при учёте возможностей современных web-интерфейсов, выполняющих запросы без обновления страниц, нельзя рассматривать как объективно верный, поэтому для современных ИС целесообразно идентифицировать функции в соответствии со схемой функциональной структуры, заложенной в систему на этапе проектирования. И только в ситуации, когда данная схема не отражена в документации, учитывать смену экранных форм, но с обязательным причислением к функциям процессов автоматизированного обновления данных в пределах формы.

Для каждой идентифицированной функции следует определить факторы сложности. В модели ФР выделяется пять регистрируемых факторов:

1) количество внешних входов или внешних потоков данных (считаются те входы, которые по-разному влияют на алгоритм функции);

2) внешние выходы (считаются только выходы, различающиеся в плане представления данных, сообщения об ошибках выходами не считаются);

3) внешние запросы (считаются все запросы, адресованные в другие узлы системы и приложения);

4) внутренние логические файлы или информационные объекты (учитываются все создаваемые и поддерживаемые функцией группы пользовательских данных);

5) внешние логические файлы (все хранилища данных, которые создает функция для размещения вне своей директории) [2].

На данном этапе для упрощения и оптимизации модели следует уменьшить число факторов. При канонической технологии проектирования ИС внешние выходы и внешние запросы являются сигналами или пакетами данных, направляемыми во внешнюю относительно узла системы сущность, в качестве которой может выступать пользователь или другая подсистема [1]. Поэтому между

факторами 2 и 3 нет принципиальной разницы, и их можно фиксировать как множество исходящих информационных потоков, отражённых в схеме функциональной структуры ИС. Также, согласно правилам проектирования информационных систем, разделение логических файлов на внутренние и внешние является избыточным – в обеих группах файлов реализована простая задача хранения массива данных, их абсолютный адрес не должен влиять на функциональность ИС. Поэтому факторы 4 и 5 тоже следует объединить.

Выделение факторов функций необходимо для получения неуточнённого размера функции. Для этого в модели ФР количество потоков или файлов функции  $l$  умножается на значение коэффициента  $k$ , которое условно определяется в зависимости от типа функции. В таблице 1 приведён пример расчета неуточнённого размера функции.

Таблица 1. Оценка неуточнённого размера функции

Фактор сложности	Просто ( $k_1$ )	Средне ( $k_2$ )	Сложно ( $k_3$ )	Сумма ( $F$ )
Кол-во входящих инф. потоков	$n_{11}$	$n_{21}$	$n_{31}$	$F_1 = n_{11} * k_1 + n_{21} * k_2 + n_{31} * k_3$
Кол-во исходящих инф. потоков	$n_{12}$	$n_{22} * k_2$	$n_{32}$	$F_2$
Кол-во логических файлов (хранилищ данных)	$n_{13}$	$n_{23}$	$n_{33}$	$F_3$
Неуточнённый размер функции:				$\sum F$

На данном этапе в модели при сопровождении ИС следует использовать более объективные методы оценки сложности  $k$ , которые не зависели бы от квалификации пользователя и его личного мнения. Так, метод частичной принадлежности из теории нечетких множеств позволит учесть неоднородность функций, не потеряв при этом идентичность шкалы сложности [3]. Согласно этому методу, необходимо составить эталон сложной функции из её характеристик, например, наличия криптографии, наличия параллельных вычислений, взаимодействия с операционной системой. Потом для каждой функции составляется отдельное множество характеристик. Формула расчета степени сложности функции (1) будет учитывать число совпавших характеристик и число характеристик в множестве эталона  $\mathcal{E}$  (наиболее сложной функции) и множестве  $X$  функции  $i$ .

$$k_i = \mu_{\mathcal{E}}(X_i) = \frac{\text{card}(X_i \cap \mathcal{E})}{\text{card}(X_i \cup \mathcal{E})} \quad (1)$$

На последнем этапе модели ФР значение неуточнённого размера функции умножается на глобальную сложность системы  $M$ , для расчёта которой из технического задания системы необходимо отобрать основные характеристики автоматизируемого объекта. Каждая из основных характеристик в модели ФР оценивается по шкале от 0 до 5, где 0 – нет, 1 – иногда, 2 – редко, 3 – средне, 4 – часто, 5 – всегда. Итоговый результат высчитывается по формуле (2).

$$M = K + \sum_{1}^n h * d, \quad (2)$$

где  $h$  – значение оценки от 0 до 5 для  $n$  характеристик;

$d$  – коэффициент размерности  $d=0,35/n$ ;

$K$  – константа типовой функциональной сложности программного продукта, для информационной системы  $K=0,65$ .

Общая сложность системы  $M$  и, как следствие, сложность её сопровождения, как следует из формулы (2), стремится к максимальному значению 1 или 100%. Но подобная сложная система должна уметь выполнять абсолютно все процессы обработки информации с отсутствием задержки по времени выполнения и с нулевой вероятностью сбоя. Для реальной системы производственного предприятия значение общей сложности составит не более 0,5.

Значение функционального размера ИС определяется по формуле (3), оно позволит оценить, насколько сложную систему обслуживает коллектив группы сопровождения [2].

$$\text{ФР} = \text{НФР} * M \quad (3)$$

Оценка, полученная по формуле (3) далее может быть умножена на оклад сотрудников для расчёта затрат на сопровождение информационной системы и принятия решений о продолжении или прекращении содержания ответственного за данный процесс коллектива.

#### Литература

1. **Гвоздева, Т.В.** Проектирование информационных систем: [учебное пособие для вузов] – Иваново: ИГЭУ, 2006.—352 с.
2. **Брауде Э.Дж.** Технология разработки программного обеспечения – СПб.: Питер, 2004. – 654 с.
3. **Белов, А.А.** Нечеткость в информационной деятельности: учебное пособие – Иваново: ИГЭУ, 2015.—64 с.

Ивановский государственный энергетический университет,  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, д.34  
*E-mail: bvpahan@yandex.ru*

## **Применение предметно-ориентированного подхода при построении архитектуры информационной системы**

**Аннотация.** Изучение особенностей внедрения и эксплуатации информационных систем на предприятиях показало, что низкий эффект от использования информационной системы на предприятии обусловлен разрывом между существующими бизнес процессами и средствами их автоматизации. В статье показано, что применение предметно-ориентированного подхода к построению архитектуры корпоративной информационной системы позволяет создать гибкую систему, нацеленную на максимально эффективную поддержку бизнес процессов предприятия.

**Ключевые слова:** информационная система, архитектура информационной системы, предметно-ориентированный подход, бизнес процесс, концептуальная модель.

P.V. BUYLOV, Ph.D. in Technology  
T.V. GVOZDEVA, Ph.D. in Economics

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003, Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
*E-mail: bvpahan@yandex.ru*

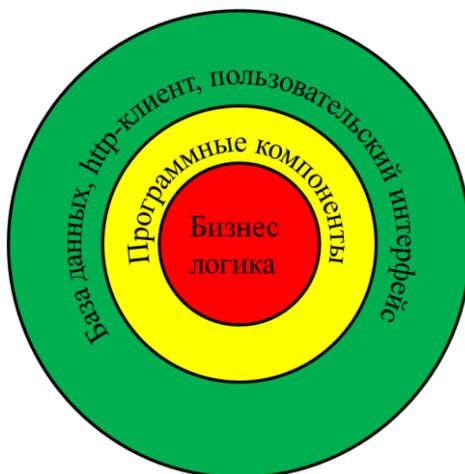
## **Application of a domain-specific approach to building the architecture of an information system**

**Abstract.** A study of the features of the implementation and operation of information systems in enterprises showed that the low effect of using an information system in an enterprise is due to the gap between existing business processes and their automation tools. The article shows that the application of a domain-specific approach to building the architecture of a corporate information system allows you to create a flexible system aimed at the most effective support for the enterprise's business processes.

**Keywords:** information system, information system architecture, domain-specific approach, business process, conceptual model.

Современный бизнес не мыслим без использования информационных систем и телекоммуникационных технологий. При этом эффективность функционирования современного бизнеса во многом определяется степенью соответствия используемой информационной системы (ИС) решаемым бизнесом задачам. В то же время информационные системы на большинстве предприятий внедряются для решения текущих проблем по мере их поступления, без учета особенностей бизнес-процессов предприятия. Это приводит к проблеме большого разнообразия используемых на предприятии информационных систем, частично дублирующих функции друг друга и не имеющих интерфейсов взаимодействия. Следствием отсутствия системного подхода при решении задач автоматизации бизнес-процессов является низкая эффективность использования информационных систем, а также сложность изменения бизнес-процессов. На предприятии возникает разрыв между существующими бизнес-процессами и средствами их автоматизации, причем степень несоответствия бизнес-процессов и поддерживающих их информационных систем с течением времени возрастает. Таким образом, построение архитектуры информационной системы, соответствующей бизнес-процессам предприятия является актуальной задачей.

Одним из ключевых подходов, позволяющих решить обозначенную проблему, является предметно-ориентированное проектирование. Данный подход позволяет представить архитектуру информационной системы в виде совокупности взаимосвязанных информационных объектов, описывающих различные предметные области бизнеса. Основой для построения информационной системы является бизнес-модель предметной области - концептуальная модель, описывающая бизнес-процессы предприятия. При этом бизнес-логика информационной системы выделяется в отдельный слой, отделяется от уровней хранения данных и представления. Инкапсуляция бизнес-логики повышает гибкость конечного продукта, позволяет относительно легко адаптировать систему под изменяющиеся бизнес-процессы предприятия. Архитектура информационной системы состоит из трех слоев (рис.1), причем слои не зависят друг от друга [1]. Согласно [1] для обеспечения гибкости информационной системы имена сущностей (переменных, функций) используемые в каком-либо слое, не должны применяться в других слоях. Соблюдение этого правила позволяет обеспечить независимость слоев, возможность изменения внутренних слоев (бизнес-логики) без необходимости изменения внешних (базы данных, внешних интерфейсов). Передача информации между слоями производится при помощи специализированных интерфейсов (портов).



и  
Рис. 1 Архитектура предметно ориентированной КИС

В соответствии с концепцией [1] информационная система разделяется на три слоя (рис 1):

- Слой общей для приложений бизнес-логики.
- Слой программных компонент.
- Внешний слой, содержащий пользовательский интерфейс, базу данных, http-клиент, внешние интерфейсы.

Информационная система строится вокруг слоя бизнес логики, описывающего бизнес процессы предприятия в терминах предметной области. Этот слой является консолидирующим для всех приложений информационной системы. Формирование слоя бизнес логики начинают с анализа предметной области – выявления реальных потребностей бизнеса, постановки целей, набора решаемых задач, а также набора сущностей, с которыми приходится иметь дело при решении этих задач. В результате анализа формируют набор графических моделей, служащий основой для реализации концептуальной модели в виде программного кода – библиотеки, концентрирующей и инкапсулирующей бизнес логику. В результате вся бизнес логика становится сосредоточена в рамках этой библиотеки, и при изменении модели поведения бизнеса может быть адаптирована под эти изменения.

Второй слой определяет набор программных компонент, каждая из которых реализует часть модели предметной области. Основной задачей при разработке данного слоя является обеспечение минимальной связности между программами. Переходы между слоями осуществляются через интерфейсы (порты). Один (входной порт) используется для передачи запроса, второй (выходной порт) - для ответа. Интерфейсы обеспечивают возможность коммуникации между

слоями при независимости слоев. В результате информационная система представляет собой совокупность независимых (слабосвязанных) программ, каждая из которых реализует свою функцию (высокое зацепление) и взаимодействует с общим хранилищем данных. Интеграция программных компонент в единую систему происходит на уровне ядра (бизнес логики), что обеспечивает максимальное соответствие информационной системы целям и задачам бизнеса. Кроме того, приведенный подход позволяет построить архитектуру информационной системы, отвечающую критериям тестируемости, независимости от фреймворков, независимости от окружения (баз данных, служб, интерфейсов).

#### Литература

1. Robert C. Martin «The Clean Code Blog. The Clean Architecture» by Robert C. Martin (Uncle Bob) / 13 August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.cleancoder.com/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html>, свободный – (09.11.2019).

2. Шаблоны GRASP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GRASP>, свободный – (09.11.2019).

УДК 651.5

С.Г. Сидоров, к.т.н., доцент  
Е.А. Залипаева, ст. преподаватель

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина,  
153003, г. Иваново, ул. Рабфakovская 34,  
*E-mail: Zalipaeva@it.ispu.ru*

## **Как доказать, что сертификат ключа подписи не утратил силу на момент подписания электронного документа?**

**Аннотация.** Представлены основные условия доказательства факта действительности сертификата на момент подписания электронного документа.

**Ключевые слова:** сертификат, ключ, подпись, электронный документ

S.G.Sidorov, Senior Lecturer  
E.A.Zalipaeva, Senior Lecturer

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003, Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
*E-mail: Zalipaeva@it.ispu.ru*

## **How to prove that the signature key certificate did not expire at the time of signing the electronic document?**

**Abstract.** The basic conditions for proving the validity of the certificate at the time of signing the electronic document are presented.

**Keywords:** signature, key, certificate, electronic document.

Отметим, что согласно ч. 1 ст. 2 Федерального закона РФ от 06.04.2011 № 63-ФЗ «Об электронной подписи» (далее – Закон № 63-ФЗ) электронная подпись представляет собой информацию в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписавшего информацию.

Следовательно, электронная цифровая подпись (ЭЦП) равнозначна собственноручной подписи на документе, выполненном на бумажном носителе.

Сегодня количество документов, заверенных ЭЦП, постоянно увеличивается.

ЭЦП, согласно п. 2 ст. 160 ГК РФ, используются в случаях и в порядке, предусмотренных законом, иными правовыми актами или соглашениями сторон.

В процессе обмена «электронными документами», заверенными ЭЦП не мало важным аспектом является волеизъявление сторон.

Например, документы, заверенные ЭЦП, могут быть использованы во всех видах гражданско-правовых сделок.

Электронные документы, подписанные электронными цифровыми подписями, являются не только основанием для проведения операций, но и первичными документами, подтверждающими операции для целей обложения налогом на прибыль и НДС, как важнейшими налогами, уплачиваемыми организациями-налогоплательщиками.

Следует отметить, что главным доказательством факта действительности сертификата на момент подписания документа является одновременное выполнение следующих условий:

1. Должна быть действительная электронная подпись удостоверяющего центра, которой подписан сертификат.
2. Дата подписания должна попадать в период действия, который указан в сертификате.
3. На дату подписания данный сертификат не числился в действовавшем на тот момент списке отозванных сертификатов.

В качестве альтернативы может выступать полученная от удостоверяющего центра квитанция, которая свидетельствует об успешной онлайн-проверке действительности сертификата. Она предоставляется во время проверки подписи получателем.

В случае возникновения спорных ситуаций необходимо обратиться в удостоверяющий центр, который выдал сертификат, на основании которого была создана электронная подпись.

Удостоверяющий центр осуществляет проверку и удостоверяет действительность подписи под документом.

Подтверждает действительность сертификата подписи на момент подписания. Для этого используют специальное программное обеспечение.

Основным нормативным документом, регламентирующим данную деятельность является Приказ Минздравсоцразвития России от 17.09.2010

№ 807 «Об утверждении Регламента Удостоверяющего центра электронной цифровой подписи автоматизированных информационных систем единого информационного пространства Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации»

4.2. Права пользователя Удостоверяющего центра.

4.2.4.4. Обратиться в Удостоверяющий центр с заявлением на получение информации о статусе сертификатов ключей подписей и их действительности на определенный момент времени.

Следует отметить, что возможны и другие доказательства.

Например, документально зафиксированный факт успешной проверки подписи получателем либо независимой третьей стороной.

В некоторых организациях все подписанные ЭЦП/УЭП документы проходят делопроизводственный цикл только после успешной проверки подписи.

Это требование зафиксировано внутренним регламентом.

В некоторых системах электронного документооборота (например, при сдаче налоговой отчетности) отправителю документа посылается квитанция.

В ней подтверждается факт успешной проверки подписи.

Что касается надежности этих вариантов, то она зависит от сложившейся судебной практики.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что главным доказательством факта, действия сертификата ключа подписи на момент подписания электронного документа являются условия соответствия даты подписания документа и периода действия сертификата, а также его подлинность.

#### Литература

1. Федеральный закон № 63-ФЗ «Об электронной подписи» от 06.04.2011
2. Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006
3. <https://ecm-journal.ru/e-sign>
4. <http://www.delo-press.ru/articles.php?n=9144>
5. [http://rusrim.blogspot.com/2017/01/blog-post\\_3.html?m=1](http://rusrim.blogspot.com/2017/01/blog-post_3.html?m=1)

УДК 519.688

А. С. Мочалов, ст. преподаватель;  
С. Г. Сидоров к. т. н., доцент;  
С.В. Косяков д.т.н., проф.;  
Д.И. Коровин д.э.н., доцент;

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет  
имени В. И. Ленина»  
(ИГЭУ)

Россия, 153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
*E-mail: firestorm\_01@rambler.ru, ksv@igt.ispu.ru, sgs@vvs.ispu.ru*

## **Определение источников радиационного загрязнения в водной среде**

**Аннотация.** В работе приведено общее описание методик определения источников радиационного загрязнения в водной среде.

**Ключевые слова:** радиационного контроль, загрязнение, радиоактивные вещества.

Ivanovo State Power University named after V. I. Lenin  
Russia, 153003, Ivanovo, ul. Rabfakovskaya, 34  
*E-mail: firestorm\_01@rambler.ru, ksv@igt.ispu.ru, sgs@vvs.ispu.ru*

## **Detection of sources of radiation pollution in the water environment**

**Annotation.** This article provides a general description of methods for determining the sources of radiation pollution in the aquatic environment.

**Keywords:** radiation monitoring, pollution, radioactive substances.

Проблемам радиационного контроля во всем мире уделяется существенное внимание. Незримые опасности, связанные с негативным воздействием радионуклидов на человеческий организм, заставляет разрабатывать новые механизмы защиты населения и предупреждения последствий аварий на потенциально опасных объектах.

В статье описываются методы математического моделирования и реализация программного обеспечения в составе опытного образца программно-аппаратного комплекса для обеспечения поддержки принимаемых решений по защите населения и территорий при авариях на потенциально опасных объектах при наличии источников радиации в водной среде. Работа выполнялась в рамках Государственного контракта №507/2269-999.

Перед авторами была поставлена задача создать программу, предназначенную для использования в составе программно-аппаратного комплекса радиоэкологического мониторинга акваторий и

прилегающих территорий (далее - Комплекс), и обеспечивающую экспрессное определение источников радиоактивного загрязнения водной среды без отбора проб и без определения радиоактивных загрязнений донных отложений. Разрабатываемое программное обеспечение должно устанавливаться на серийном ноутбуке, входящем в состав Комплекса. Новизна решаемой задачи определяется использованием в работе нового погружного спектрометра разработки ВНИИ «СПЕКТР» (Россия), обеспечивающего оперативное измерение концентраций радиоактивных веществ в воде непосредственно на месте проведения измерений.

Общий алгоритм проведения радиоэкологического мониторинга акваторий и прилегающих территорий включает следующие действия:

1. Выдвижение группы на катере в район проведения замеров, получение вводных, привязка к местности,
2. Расчет маршрута для проведения замеров на основе анализа цифровой карты территории средствами ГИС.
3. Производство замеров в указанных в маршруте точках в указанные в моменты времени.
4. Выполнение вычислений для нахождения координат точки и времени предполагаемого выброса, а также прогноза распространения загрязнения.
5. Передача полученных результатов в ситуационный центр МЧС для их отображения на карте территории.

Для выдвижения в район проведения замеров используется встроенный GPS/Глонасс-приемник, который постоянно определяет координаты катера. При этом программа отображает текущее положение катера на карте.

Характерное время одного измерения спектрометром в случае незначительного превышения фона, либо в случае наблюдения фоновых значений, может составлять десятки минут. В противном случае время одного измерения становится существенно коротким (возможно, до 5 сек). Но в этом случае концентрация может более существенно различаться в соседних (поперек течения реки) точках. Это указывает на то, что разрабатываемая модель должна быть максимально упрощенной, использовать осредненные параметры водных потоков и допускать ряд существенных упрощений.

В основу расчетного модуля положена одномерная модель переноса радиоактивных веществ, в рамках которой предполагается, что нас интересует максимальная концентрация радиоактивных веществ (функция  $C(x,t)$ ) по водному сечению реки (поперек течения) [2]. В модели также предполагается, что коэффициент продольной турбулентной дисперсии  $E_x$  и скорость течения  $U$  не зависят от времени и пространственных координат и отсутствуют протяженные (по длине реки) источники загрязнения.

В этом случае основное уравнение переноса примеси сводится к уравнению:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} - \lambda_c C.$$

где  $U$  - осредненная по рассматриваемому участку реки скорость течения, м/с;

$E_x$  - коэффициент продольной турбулентной дисперсии;

$\lambda_c$  - постоянная выведения радионуклида вследствие сорбции донными отложениями.

В интервале  $0 < x < \infty$  и  $0 \leq t < \infty$  начальные условия определяются выражением  $C(x, 0) = C_\phi$ , где  $C_\phi$  — фоновая концентрация радионуклида в реке. Граничные условия к этому уравнению можно записать в виде  $C(0, t) = f(t)$ , где  $f(t)$  — функция, определяющая переменную во времени мощность источника сброса загрязнения в сточные воды.

Рассмотрим основные возможные варианты:

1. В случае стационарных сбросов  $f(t) = C_0$ . Под  $C_0$  понимается средняя концентрация радионуклида в воде в начальном створе при  $t \geq 0$ .

В этом случае решение уравнения имеет вид:

$$C(x, t) = \frac{C_\phi}{1 + 2\lambda t} + \left( C_0 - \frac{C_\phi}{1 + 2\lambda t} \right) \cdot \exp \left[ x \left( \frac{U}{2E_x} - \sqrt{\left( \frac{U}{2E_x} \right)^2 + \frac{1 + 2\lambda t}{2E_x t}} \right) \right] \quad (1)$$

2. Если  $f(t) = C_0 [1 - \exp(-mt)]$  (постоянно нарастающий выброс от 0 до  $C_0$ ), где  $m$  — постоянный коэффициент, решение имеет вид:

$$C(x, t) = \frac{C_\phi}{1 + 2\lambda t} + \left( C_0 \left( 1 - \frac{1}{2mt + 1} \right) - \frac{C_\phi}{1 + 2\lambda t} \right) \cdot \exp \left[ x \left( \frac{U}{2E_x} - \sqrt{\left( \frac{U}{2E_x} \right)^2 + \frac{1 + 2\lambda t}{2E_x t}} \right) \right] \quad (2)$$

3. Если  $f(t) = C_0 [\exp(-mt)]$  (аппроксимация мгновенного точечного источника с характерным шлейфом последействия), где  $m$  — постоянный коэффициент, решение имеет вид:

$$C(x,t) = \frac{C_\phi}{1+2\lambda t} + \left( C_0 \left( \frac{1}{2mt+1} \right) - \frac{C_\phi}{1+2\lambda t} \right) \cdot \exp \left[ x \left( \frac{U}{2E_x} - \sqrt{\left( \frac{U}{2E_x} \right)^2 + \frac{1+2\lambda t}{2E_x t}} \right) \right] \quad (3)$$

В представленных моделях координата  $x$  здесь отсчитывается по оси фарватера, а  $x=0$  положение источника. Значение координаты  $t=0$  указывает на момент инициализации источника.

Предлагаемая методика позволяет проводить анализ радиационной обстановки по трем сценариям.

Первый – известно, что произошел выброс, но не известны ни координаты точки выброса, ни приблизительный момент выброса, ни характер выброса.

Второй – известно, что произошел выброс, известны координаты точки выброса, момент времени выброса.

Третий сценарий состоит в проведении мониторинговых измерений в отсутствии информации о выбросах. Итогом мониторинга является либо доклад об отсутствии существенных превышений фоновых показателей, либо переключение на режим первого сценария.

В результате проведенных исследований предложены и успешно реализованы следующие согласованные математические модели:

Расчет траектории движения катера и моментов взятия проб по руслу реки вне зависимости от конфигурации русла.

Оптимизационная модель расчета максимального значения концентрации радионуклида в «створе» русла.

Оптимизационная модель расчета коэффициентов функций концентрации с выбором наиболее вероятного сценария и оценкой времени и места сброса радионуклидов.

Полученные результаты могут использоваться при создании серийных образцов программно-аппаратного комплекса для обеспечения поддержки принимаемых решений по защите населения и территорий при авариях на потенциально опасных объектах при наличии источников радиации в водной среде.

### Литература

1. **Гордиенко В.А.**, Брыкин С.Н. Р.Е. Кузинс , И.С. Серебряков, М.В. Старкова, Т.Н.Таиров. Атомная энергетика: за или против? Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС работающими на угле Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. - 2012. - № 1. - С. 123-130
2. **Носов А.В.**, Крылов А.Л., Киселев В.П., Казаков С.В. Моделирование миграции радионуклидов в поверхностных водах, М. Наука 2010, с.253
3. **Моисеев Н.Н.**, Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. "Методы оптимизации", - М.: Наука, 1978.

4. **Ежегодник** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение, "Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск. 2016.

5. **Ежегодник** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение, "Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск. 2015.

УДК 519.684

А. С. Мочалов, ст. преподаватель;  
С. Г. Сидоров к. т. н., доцент;

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет  
имени В. И. Ленина»  
(ИГЭУ)

Россия, 153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
*E-mail: firestorm\_01@rambler.ru, ksv@igt.ispu.ru, sgs@vvs.ispu.ru*

## Unified память в CUDA

**Аннотация.** В работе приведено общее описание методов работы с unified памятью в CUDA.

**Ключевые слова:** CUDA unified memory, графические процессоры, параллельные вычисления.

Ivanovo State Power University named after V. I. Lenin  
Russia, 153003, Ivanovo, ul. Rabfakovskaya, 34  
*E-mail: firestorm\_01@rambler.ru, ksv@igt.ispu.ru, sgs@vvs.ispu.ru*

## Unified memory in CUDA

**Annotation.** This article provides a general description of unified memory in CUDA.

**Keywords:** CUDA unified memory, GPU, parallel calculations.

Новой возможностью, впервые появившейся в CUDA 6, является так называемая unified-память. Она позволяет работать с единым адресным пространством, в который входит как вся системная (обычная) память, так и память всех установленных GPU [1].

Под этим подразумевается единое адресное пространство и указатели в память, по которым можно обращаться как со стороны CPU, так и со стороны GPU. Т.е. можно выделить память, получив при этом указатель, произвести запись прямо по нему со стороны CPU, после чего вызвать ядро, передав ему этот же указатель для работы, а по его завершении - опять обратиться к данным со стороны CPU по тому же самому указателю.

При этом не требуется никакого явного копирования данных - все производится автоматически и совершенно прозрачно. Это облегчает программирование и особенно работу со сложными структурами данных, содержащими многочисленные указатели внутрь себя. Ранее в таких случаях требовался явный перевод всех этих указателей при их копировании, но с unified памятью это стало не нужным.

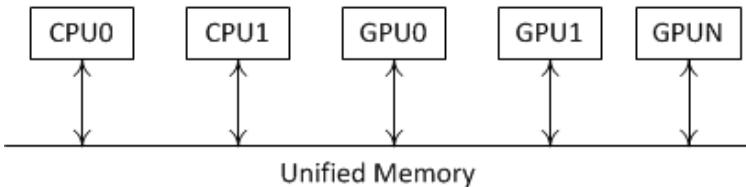


Рис 1. Unified память в системе

GPU класса Pascal (серия 10xx) и выше заметно расширяют возможности и удобство использования этой памяти. Поэтому далее мы будем рассматривать все только для GPU Pascal и выше. С одной стороны, используется единое 49-битовое адресное пространство. А с другой - в архитектуре GPU появился Page Migration engine.

Для GPU предыдущих поколений перед запуском ядра производится полное копирование всех данных, перенесенных ранее в память CPU, обратно на GPU (вне зависимости от того, будут они использоваться GPU или нет). наличие Page Migration engine позволяет избежать ненужного копирования - при обращении GPU к памяти, которая еще не перенесена на данный GPU, происходит page fault. Далее останавливаются два SM (два в силу особенностей Page Migration engine), после чего производится копирование соответствующей памяти из CPU на GPU. После того, как копирование будет завершено, работа SM будет продолжена.

Для выделения unified-памяти используется функция `cudaMallocManaged`, для освобождения - функция `cudaFree` [2].

```
cudaError_t cudaMallocManaged ( void **ptr, size_t size, unsigned int flags = cudaMemAttachGlobal );
```

При вызове этой функции происходит выделение памяти на GPU, но возвращаемый указатель доступен как со стороны GPU (любого из установленных), так и со стороны CPU. Обратите внимание, что для

GPU Pascal и выше при вызове `cudaMallocManaged` на самом деле может вообще не произойти никакого выделения реальной памяти - это произойдет при реальном обращении к памяти.

```
__global__ void kernel ( int * data, int n )
{
    size_t index = threadIdx.x + blockIdx.x * blockDim.x;

    if ( index < n )
        data [index] = index;
}

int main ()
{
    int * ptr;
    int n = 1024*1024;    // # of elements
    int blockSize = 1024;
    int numBlocks = (n + blockSize - 1) / blockSize;
                    // allocate managed memory
    cudaMallocManaged ( &ptr, n * sizeof ( int ) );

    kernel<<<numBlocks, blockSize>>> ( ptr, n );

    cudaDeviceSynchronize ();

    for ( int i = 0; i < n; i++ )
        if ( ptr [i] != i )
            {
                printf ( "Error at %d - %d\n", i, ptr [i] );
                return 1;
            }

    cudaFree ( ptr );

    printf ( "Success\n" );

    return 0;
}
```

Обратите внимание, что можно использовать эту функцию при переопределении оператора `new` - в этом случае будет сразу выделяться `unified`-память. Это позволяет легко размещать различные объекты в такой памяти и делать их доступными для всех. Обратите внимание, что для GPU до Pascal нельзя одновременно работать с такой памятью и со стороны GPU и со стороны CPU. Для Pascal и выше

такое уже становится возможно, но при этом надо соблюдать осторожность, чтобы не возникали race condition.

Кроме того, использование подобной памяти дает еще одно преимущество. Обычно объем памяти GPU ограничен (в отличие от объема легко наращиваемой оперативной памяти) и поэтому выделить десятки гигабайт памяти GPU обычным образом невозможно. Однако поскольку при выделении через `cudaMallocManaged` мы фактически имеем дело с виртуальной памятью, то возможно выделять большие объемы памяти. При этом при обращении к ней со стороны GPU (любого из) будет происходить автоматический перенос данных в память данного GPU. таким образом появляется возможность работы с очень большим объемом виртуальной памяти, которая при обращении к ней, автоматически копируется в нужную сторону, снимая тем самым ограничения на объем памяти, фактически установленной на GPU.

Однако стоит помнить, что использование unified-памяти обладает определенной ценой, которую приходится платить на подобную схему копирования данных. В результате быстроедействие может оказываться ниже, чем при явном копировании данных. Тем не менее использование unified-памяти сильно упрощает работу программиста.

#### Литература

1. **Unified Memory for CUDA Beginners** / Nvidia Developer Blog [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://devblogs.nvidia.com/unified-memory-cuda-beginners/>, свободный.

2. **Unified Memory Programming** / Nvidia Developer Zone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html#um-unified-memory-programming-hd>, свободный.

УДК 004.424+681.3.06

Л.П. Чернышева, ст. преподаватель  
С.Г.Сидоров, доцент, к.т.н., зав.кафедрой

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина,  
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская 34,  
*E-mail: chemlu@vvs.ispu.ru*

## Использование нескольких графических процессоров при решении полевых задач на CUDA

**Аннотация.** В гетерогенных системах используется сложный способ организации параллельной вычислительной системы, в них объединены многоядерные процессоры и графические платы. Важным вопросом является эффективное использование вычислительных систем с такой сложной архитектурой.

**Ключевые слова:** гетерогенные системы, эффективность вычислений, методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений больших размерностей

L.P. Chernysheva, Senior Lecturer  
S.G.Sidorov, associate professor, candidate of technical sciences,  
head of the department,

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003, Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: [chernlu@vvs.ispu.ru](mailto:chernlu@vvs.ispu.ru)

## Using multiple GPUs to solve field problems on CUDA

**Abstract.** In heterogeneous systems, a complex method of organizing a parallel computing system is used, they combine multi-core processors and graphics cards. An important issue is the effective use of computing systems with such a complex architecture.

**Keywords:** heterogeneous systems, computation efficiency, methods for solving ordinary differential equations of large dimensions

Современные высокопроизводительные вычислительные системы (ВВС) являются гетерогенными. Они состоят из компонентов двух основных типов: многоядерного центрального процессора и массивно-параллельных ускорителей, например, графических процессоров (GPU) фирмы NVIDIA. Гибридные технологии используют самые мощные суперкомпьютеры в мире. Решая полевые задачи, появляется неизбежная проблема увеличения времени вычислений при повышении точности и при росте расчётной области. Одним из способов решения этой проблемы является использование графических ускорителей.

На данных системах стало возможным создавать высокопроизводительные приложения для такой требовательной к вычислительным ресурсам области, как математическое моделирование физических процессов в энергетике. Графические ускорители сами по себе обладают преимуществом над центральными процессорами и являются дешевой альтернативой кластерным системам. Так использование нескольких графических ускорителей может обеспечить систему несколькими сотнями ядер, проводящих вычисления параллельно.

Проведено исследование при использовании двух графических процессоров при решении стационарного уравнения на большой расчётной области с маленьким шагом по осям, причем останов вычислений проводился при достижении точности  $\epsilon = 0.00001$ .

Исследования проводились на гетерогенной вычислительной системе, находящейся на кафедре высокопроизводительных вычислительных систем, со следующими техническими характеристиками. Система состоит из восьми ядерный центрального

процессора и двух графических процессора NVIDIA. Модель графического процессора – GeForce GTX 580. Тактовая частота графической подсистемы – 576 МГц. Тактовая частота процессора – 1,6 ГГц. Тактовая частота памяти – 1008 МГц. Интерфейс памяти – 446 бит. Доступная графическая память – 1610 ГБ. Выделенная видеопамять – 896 МБ. Разделяемая системная память – 2,815 ГБ. В системе количество ядер в блоке равно 1024. Это пятая версия аппаратной реализации CUDA (Compute Unified Device Architecture).

Пусть дана расчетная область с заданными граничными условиями. В области задана функция  $f(x,y)$ , которая подчиняется закону по уравнению Пуассона.

Необходимо найти значения искомой функции по достижении точности  $\epsilon = 0.00001$ .

Воспользуемся геометрическим видом параллелизма. Вся расчётная область разделяется на приблизительно равные участки по числу используемых графических ускорителей, и каждый графический ускоритель закрепляется за своей частью расчётной области.

Решим данную задачу с помощью технологий OpenMP и CUDA. Технология параллельного программирования OpenMP позволяет в параллельном режиме каждому потоку вызывать выполнение ядра графического ускорителя, который будет вычислять свою расчетную область.

При использовании технологии CUDA все вычисления будем проводить на устройстве (Device).

Функция запуска ядра вычисляет новые значения искомой функции и проверяет условие достижения точности, причем каждая нить обчисляет один узел расчетной области и все нити работают одновременно. Это дает заметное ускорение вычислений. Для перехода к следующему шагу вычислений обязательно необходима синхронизация для того, чтобы вновь вычисленные значения были доступны все нитям.

После вызова нитями вычислений на графических ускорителях, требуется передача границ каждой расчётной области. С каждого графического ускорителя копируются области данных, границы расчётных областей, на «хост», где они обрабатываются, происходит обмен значениями на границах между нитями устройства (рисунок 1). После обмена, значения на границах расчётных областей загружаются на графические ускорители и вычисления продолжают по достижению заданной точности.

Обмен значениями на границах расчётных областей является основной причиной задержки во времени вычислениях.

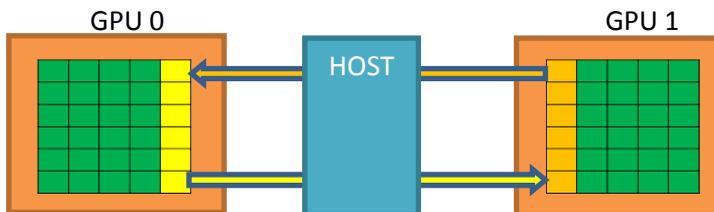


Рис. 1. Обмен данными между графическими ускорителями.

Результаты проведенных численных экспериментов представлены в таблице 1.

Шаг по области	Время вычислений на 1 GPU	Время вычислений на 2 GPU
0.1	0,3364365	0,6893995
0.01	0,331388	0,685884
0.001	0,802878	0,95573475
0.0006	1,557889	1,3035115
0.0002	10,793318	6,0099705
0.0001	42,783002	21,839785

Использование CUDA совместно с OpenMP на гетерогенной системе дает наилучшие результаты при больших размерностях расчетной области..

### Литература

1. **Воеводин В.В.**, Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 608с.
2. **Эндрюс Г.Р.** Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования.: Пер.с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 512с.
3. **Эхтер Ш.**, Робертс Дж. Многоядерное программирование. – СПб.: Питер, 2010. – 316 с.
4. **Боресков А.В.**, Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2011, – 232с.
5. **Сандерс Дж.**, Кэндрот Э. Технологии CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
6. **Миллер Р.**, Боксер Л. Последовательные и параллельные алгоритмы: Общий подход. Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 406 с.: ил.

## **Аналитический обзор нейросетевых и высокопроизводительных решений медицинских задач**

**Аннотация:** Выполнен обзор существующих интеллектуальных систем медицинской диагностики. Приведен ряд высокопроизводительных решений. Создана обучаемая нейросетевая структура, которая на основе анализа вариабельности ритма сердца формирует оценку состояния сердечно-сосудистой системы новорожденных, а также выдает прогноз о динамике состояния.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, параллельные вычисления, медицинские программные комплексы.

Известно, что современная вычислительная техника совершенствуется в отношении производительности вычислений и повышения ее интеллектуальности. Компании-производители видеокарт, накопив опыт и поняв, что вычислительная мощность их продуктов сравнима с суперкомпьютерами, выпустили графические ускорители со специальной архитектурой, позволяющей создавать на их основе высокопроизводительные параллельные структуры [1].

Ультразвуковые исследования безопаснее рентгеновских, поэтому чаще используются в комплексной диагностике заболевания [4]. Для диагностики патологии используются различные ультразвуковые программы и методики, такие как TechniScanMedicalSystems, включая построение и анализ трехмерного изображения с использованием системы Svava, построенной на базе видеоускорителей [5]. Специфичность метода находится на уровне 10-20%.

Нейросетевые технологии способны оказать содействие в диагностике инфаркта миокарда. По статистике врач правильно диагностирует инфаркт миокарда у 88% больных и ошибочно ставит этот диагноз в 29% случаев. Группа исследователей Калифорнийского университета использовала многослойный персептрон для распознавания инфаркта миокарда у пациентов, поступающих в приемный покой с острой болью в груди [7]. Целью было создание инструмента, предлагающего рекомендательную помощь врачам при анализе потока данных, характеризующих состояние поступившего больного и, соответственно, совершенствование диагностики этого заболевания. В качестве входных данных учитывались 20 параметров. Сеть продемонстрировала точность 92% при обнаружении инфаркта миокарда и дала только 4% случаев сигналов ложной тревоги,

ошибочно подтверждая направление пациентов без инфаркта в кардиологическое отделение.

Известна экспертная система для диагностики и лечения артериальной гипертензии [9]. Система включает в себя три нейросетевых модуля, причем ответы одних являются входными данными для других. В начале исследования больному проводят измерение артериального давления каждые полчаса в течение суток. Данные за каждый час усредняются. Таким образом, образуется массив из 48 величин артериального давления (по 24 для систолического и диастолического). После этого первый нейросетевой модуль, на основании данных о поле и возрасте больного рассчитывает аналогичные "должные" величины и сравнивают их с реальными. Параллельно второй модуль на основании клинических данных (симптоматика, анамнез) рассчитывает возможные сочетания гипотензивных лекарственных средств, которые могут быть использованы для лечения данного больного. Таким образом, создается оптимальная для пациента схема лечения гипертензии с назначением суточного (почасового) графика приема больным лекарств.

Научные исследования в области применения нейросетевых высокопроизводительных решений для диагностики заболеваний проводятся в «НИИ материнства и детства им. В.Н. Городкова» г. Иваново. Известен метод оценки состояния пациента при помощи анализа вариабельности ритма сердца [10]. В рамках исследования был сформирован массив записей RR-интервалов для новорожденных детей с хронической внутриутробной гипоксией с постгипоксической кардиопатией. Каждая запись ведется на протяжении пяти минут и представляет собой последовательность численных значений временных промежутков между сердечными сокращениями, выраженных в миллисекундах. Эти записи используются для обучения искусственных нейронных сетей [11] прогнозу исхода нарушений сердечно-сосудистой системы в виде выздоровления, сохранения нарушений на первом году жизни и других вариантов. Сначала имела место проблема нехватки обучающей информации, с помощью которой выполняется настройка нейросетевой системы. Для её решения была использована технология увеличения обучающей выборки с применением потенциальных функций. Благодаря этой технологии удалось достичь приемлемого уровня обученности системы на начальном этапе и запустить её отладку и тестирование. По мере эксплуатации интеллектуальной системы она дообучается.

#### **Литература**

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.:ил.
2. [http://www.pror.ru/forms\\_big\\_mammary.shtml](http://www.pror.ru/forms_big_mammary.shtml)
3. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров: пер.сангл.Слинкина

А.А., науч. редактор Боресков А.В. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.: ил. ISBN – 978-5-94074-504-4

4. Ежов А., Чечеткин В. Нейронные сети в медицине /Институт инновационных и термоядерных исследований, Троицк// Открытые системы N4/97 стр. 34-37 - <http://www.icmm.ru/~masich/win/lexion/nevro/medicine.htm>

5. Россиев Д.А. Медицинская нейроинформатика.// Отдел медицинской нейроинформатики, КрасГМА -<http://www.gotai.net/documents/doc-art-003-08.aspx>

6. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. - №24, 2001.

7. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей/пер. с англ./ Каллан, Р.–М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 283с. : ил.

УДК 004.942

И. Ф. ЯСИНСКИЙ, к.т.н.,

А. А. ГУДУХИНА, маг.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: igor2266@yandex.ru

## **Применение технологии многопоточных и распределенных вычислений при моделировании турбулентности в сплошной среде**

**Аннотация:** Серьезным препятствием при моделировании турбулентной динамики являются высокие вычислительные затраты. Это обстоятельство вызвано тем, что требуется получить решение нестационарной задачи с сеткой очень малого шага. Нами получен устойчивый расчет модели динамики сплошной среды с вычислением турбулентной вязкости по двухпараметрической модели К-Е. В распараллеливании участвовали интерфейсы CUDA, OpenMP, C# Tasks.

**Ключевые слова:** вычислительно сложные задачи, распределенные и многопоточные вычисления, сплошные среды, полуэмпирические турбулентные модели.

Известно, что явление турбулентности оказывает оказывает значительное влияние на свойства течений в сплошной среде [1].

Обычно, с возрастанием безразмерного комплекса  $Re$  типичные размеры турбулентных молей в потоке становятся меньше. В этом случае требуется получить вычислительное решение нестационарной задачи с расчетной сеткой такого пространственного шага, чтобы он соответствовал размерам самых малых вихревых структур. Это условие переводит задачу в класс вычислительно сложных. В данной работе рассматривается метод ускорения гидродинамической задачи о

течении вязкой несжимаемой жидкости с турбулентными процессами на базе платформ CUDA, OpenMP, C# Tasks.

Для оценки возможности ускорения работы была взята область с двумя боковыми впускными отверстиями  $U_{вх1}$ ,  $U_{вх2}$  и одним донным выходным  $U_{вых}$ .

Для описания как ламинарных, так и турбулентных течений применяется система уравнений Рейнольдса (1-3) [4]:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial S_{ij}}{\partial x_j} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i}; \quad i = 1, 2, 3; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0; \quad (2)$$

$$S_{ij} = \nu_{eff} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right). \quad (3)$$

здесь  $U_i$  – составляющие вектора скорости по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\nu_{eff}$  – эффективная кинематическая вязкость.

Эффективная кинематическая вязкость вычисляется суммой молекулярной вязкости  $\nu_{mol}$  и турбулентной вязкости  $\nu_{turb}$ .

Давление рассчитывается согласно методу слабой сжимаемости (11) [2]:

$$-c^2 \cdot \text{div} \vec{U} = \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (4)$$

где  $c$  – константа, влияющая на характеристики жидкости в системе.

Двухпараметрическая К-Е модель задается следующими выражениями:

$$\nu_{turb} = c_\mu \frac{K^2}{E}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 U_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_{eff}}{\sigma_K} \cdot \frac{\partial K}{\partial x_j} \right) + S_K; \quad (6)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 U_j \frac{\partial E}{\partial x_j} = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial E}{\partial x_j} \right) + S_E; \quad (7)$$

$$S_K = \nu_{turb} D^2 - E; \quad (8)$$

$$S_E = (c_1 \nu_{turb} D^2 - c_2 E) \frac{E}{K}; \quad (9)$$

$$\nu_{eff} = \nu_{mol} + \nu_{turb}; \quad (10)$$

$$c_{\mu}=0,09; c_1= 1,44; c_2=1,92; \sigma_K=1; \sigma_E=1,3. \quad (11)$$

здесь  $K$  – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, а  $E$  – скорость диссипации кинетической энергии в этих пульсациях.

Вычислительные эксперименты проводились на расчетной сетке размерностей 100x100, 200x200, ..., 1000x1000.

Рис. 1 содержит результаты по затратам машинного времени для последовательного и параллельного алгоритмов с использованием технологий CUDA, OpenMP. Последовательная программа запускалась на одном ядре Intel Core i7 частотой 2,2 ГГц. Параллельные реализации на OpenMP и C# Tasks запускались на том же процессоре на 4-х ядрах. Параллельные блоки CUDA проводились на NVIDIA GTX 1050.

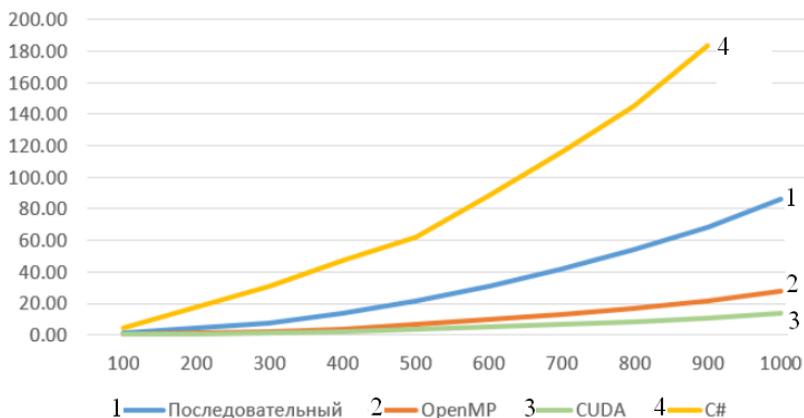


Рис. 1. Сравнительный график затрат машинного времени

Параллельный алгоритм с использованием технологии CUDA ускорил вычисления в 9 раз на современной видеокарте NVIDIA GTX 1050 с computer sarability 6.1. Использование параллельной технологии OpenMP языка C++ позволило ускорить вычисления в 4,3 раза. На языке C# использование встроенной многопоточности в данной задаче не эффективно.

#### Литература

1. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 288 с.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Учеб.для вузов. — 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с, 311 ил., 22 табл. — (Классики отечественной науки).
3. Ясинский Ф.Н., Математическое моделирование процессов вентиляции и отопления в больших производственных, культурных и спортивных помещениях //Ф.Н.Ясинский, А.С. Кокорин, Вестник ИГЭУ. – 2010. - №3. – С.90-92.

С.В. Косяков, д.т.н.  
А.М. Садыков, к.т.н.  
О.В. Фомина, инженер  
А.Б. Гадалов, инженер  
В.А. Нечаев, инженер

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
*E-mail: ksv@ispu.ru*

## **Разработка программного обеспечения для управления режимами работы систем централизованного теплоснабжения**

**Аннотация:** В работе приведены результаты разработки подхода к созданию программного обеспечения информационных систем, используемых для управления режимами работы систем централизованного теплоснабжения систем централизованного теплоснабжения.

**Ключевые слова:** Разработка программного обеспечения, системы теплоснабжения, управление режимом работы.

S.V. Kosyakov, doctor of engineering sciences  
A.M. Sadykov, candidate of engineering science  
O.V. Fomina, engineer  
A.B. Gadalog, engineer  
V.A. Nechaev, engineer

Ivanovo State Power Engineering University  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## **The software development to operating modes control of district heating systems**

**Abstract:** the paper presents the results of the development of an approach to the creation of software information systems used to control the modes of operation of district heating systems.

**Keywords:** Software Development, district heating systems, operation mode control.

Проблема низкой эффективности работы систем централизованного теплоснабжения в населенных пунктах в настоящее время является одной из наиболее острых в сфере развития ЖКХ. Анализ ситуации в этой сфере деятельности показывает, что в состав причин возникновения указанной проблемы входит низкий уровень интеграции и автоматизации процессов управления режимами работы системы в целом. Управление осуществляется отдельно на источниках, где

регулируется отпуск теплоносителя, и у потребителей с помощью автономной автоматики регулирования потребления тепла. Кроме того, сетевое оборудование часто имеет не правильные настройки. В результате система работает в «разрегулированном» режиме. Очевидно, что для устранения таких режимов работы необходимо организовать централизованное управление на основе единой информационной системы (ИС), которая обеспечит возможность принятия управленческих решений на основе общих для всей системы критериев и достоверной информации о работе всех элементов системы. Авторами предложен и реализован подход к разработке такой ИС, в котором используются облачные технологии, компонентные методы, адаптивные интерфейсы и ряд других методов разработки ПО.

В процессе анализа требований были выявлены следующие основные функции, которые должны быть реализованы в информационной системе управления режимом работы системы теплоснабжения:

1. Ввод и хранение данных о структуре системы и характеристиках ее элементов с представлением на карте территории;
2. Расчет «нормативных» режимов работы системы;
3. Оперативный сбор данных реальных характеристиках режима работы системы (мониторинг режима);
4. Сопоставление данных «нормативного» и реального режима работы системы и выработка рекомендаций по установке оптимального для сложившихся условий режима.

Функция 1 реализуется средствами геоинформационных систем (ГИС). Для функций 2 и 3 имеется множество готовых специализированных программных решений, которые конкурируют на рынке ПО и обычно применяются отдельно друг от друга. С учетом этого фактора задача разработки ПО для информационной системы была сведена к задаче интеграции готовых компонентов, реализующих функции 2 и 3 под управлением единой ГИС и разработке компонентов, реализующих функцию 4. Структура разработанной ИС приведена на рис.1.

Основное назначение ПО ИС мониторинга заключается в создании аналитической модели системы теплоснабжения, в которой для каждого элемента сети выявляются и сопоставляются данные электронной модели и данные приборов учета. На основе сопоставления этих данных в ИС решаются следующие задачи:

1. Расчет реальных характеристик объектов тепловой сети, которые должны использоваться для наладочных расчетов сети («калибровка» электронных моделей).
2. Выявление отклонений реального режима работы тепловой сети от оптимального режима, рассчитанного с помощью электронной модели.

3. Формирование информационных сообщений пользователям и рекомендаций по приведению режима работы системы к оптимальному виду.

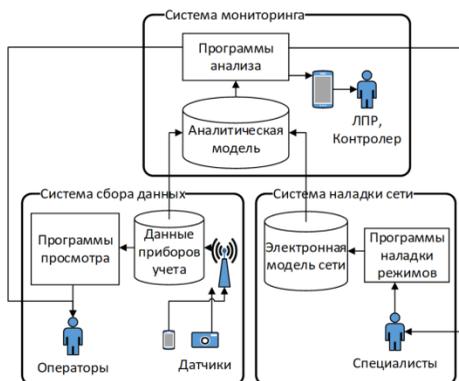


Рис. 1. Структура ИС мониторинга системы теплоснабжения

Облачная архитектура ИС является наиболее естественным решением при создании подобных систем сбора данных. Электронные модели и данные из системы сбора данных загружаются в общую аналитическую модель в облачном хранилище. Результаты обработки представляются пользователям через интерфейс, работающий в Интернет-браузерах. Интерфейс разработан на базе технологии React (<https://reactjs.org/>) [1]. Такой подход позволяет устанавливать ПО на серверах любой организации, которая заинтересована в решении проблемы повышения эффективности работы тепловой сети, независимо от мест размещения существующих ИС расчета и сбора данных. Методика применения разработанной ИС приведена в [2].

Применение подхода позволило в короткое время и с минимальными затратами создать и внедрить в опытную эксплуатацию новый программный продукт, не имеющий аналогов на рынке ПО. Результаты проведенных исследований показали, что разработанный подход и программные средства позволяют эффективно решать задачи управления системами городского теплоснабжения, создают новые возможности для экономии энергоресурсов.

#### Литература

1. Krill, Paul React: Making faster, smoother UIs for data-driven Web apps. InfoWorld (May 15, 2014). - [<https://www.infoworld.com/article/2608181/>]

2. Косяков С.В., Садыков А.М., Сенников В.В., Смирнов В.В. Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения на основе применения информационной системы мониторинга тепловых сетей // Вестник ИГЭУ. – 2018. – Вып. 2. – С. 58-66.

# ЭНЕРГЕТИКА

УДК 551.594.221

С.Н. ГОРЯЧКИН, М.Е. Тихов  
к.т.н., доценты

## Учет волнового сопротивления канала молнии в расчетах грозоупорности воздушных линий с тросами

Надежность работы воздушных линий электропередачи в значительной степени определяется их грозоупорностью, т. е. способностью ВЛ выдерживать перенапряжения, вызванные молниевыми разрядами, без отключения. В руководстве по защите от перенапряжений электрических сетей 6 – 1150 кВ [1] изложена методика расчета удельного числа грозовых отключений ВЛ на металлических и железобетонных опорах, защищенных тросами, учитывающая множество факторов. Однако, волновое сопротивление канала молнии ( $Z_M$ ) учитывается лишь при расчете числа отключений при прорыве молнии через тросовую защиту и то только для линий 500 кВ и выше. Это объясняется тем, что значения волнового сопротивления канала молнии при токах перекрытия линейной изоляции ВЛ 330 кВ и ниже при ударе молнии в провод достаточно велико, чтобы не приводить к большим погрешностям, принимая в расчетах  $Z_M = \infty$ .

При ударе молнии в опору или в среднюю часть троса возможно обратное перекрытие гирлянды изоляторов (с опоры на провод), и для этого требуются значения токов молнии значительно больше, чем при ударе молнии в провод. При этом волновое сопротивление  $Z_M$  может существенно снизиться. В связи с этим возникает вопрос; надо ли его учитывать при расчетах числа отключений линии при ударах молнии в опору или в трос в средней части пролета?

В обоих расчетных случаях напряжение, действующее на гирлянду изоляторов, во многом зависит от величины тока молнии, протекающего по опоре.

Для оценки влияния учета волнового сопротивления канала молнии на показатель грозоупорности ВЛ, защищенной тросами, воспользуемся методикой расчета этого показателя, изложенной в работе [2]. При ударе молнии в опору или в трос рядом с ней ток в опоре может быть определен по формулам:

до прихода волн отраженных от соседних опор  $I_{оп} = I_M \Psi_1$ ;

после прихода отраженных волн  $I_{оп} = I_M \Psi_1 K_1$ ,

где  $\psi_1 = \frac{0,5Z_{\text{трк}}Z_M}{R_{\text{и}}(0,5Z_{\text{трк}} + Z_M) + 0,5Z_{\text{трк}}Z_M}$ ;  $Z_{\text{трк}}$  – волновое сопротивление

троса с учетом короны;  $R_{\text{и}}$  – импульсное сопротивление заземления опоры;  $r_{\text{пр}}$  – радиус провода, м.

Для оценки влияния волнового сопротивления  $Z_M$  на значение удельного числа отключений ВЛ при ударе молнии в опору или в трос рядом с ней ( $n_{\text{оп}}$ ) были выполнены расчеты  $n_{\text{оп}}$  для ВЛ 110 кВ и 220 кВ на опорах ПБ 110-1 и ПБ 220-1 соответственно при сопротивлениях заземления опор 10 – 50 Ом без учета  $Z_M$  и с учетом  $Z_M$ . Значения  $Z_M$  соответствовали расчетным значениям токов молнии, при которых возникает обратное перекрытие гирлянды изоляторов. Вероятность перекрытия определялась путем расчета и построения кривой опасных параметров и соответствующей вероятностной кривой.

В результате установлено, что при учете  $Z_M$  коэффициент

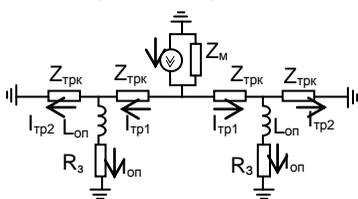


Рис.1. Эквивалентная схема замещения для расчета тока в опоре при ударе молнии в трос в середине пролета

ответвления снижается на 0,7 – 1,5%, а удельное число отключений снижается на 1 – 3%. Таким образом, при расчете удельного числа грозовых отключений при ударе молнии в опору или трос рядом с ней  $Z_M$  можно не учитывать.

При ударе молнии в трос в середине пролета ток молнии от места удара распространяется по тросам к соседним опорам, где значительная его часть уходит на землю, а другая часть движется по тросам дальше. Здесь также возможно обратное перекрытие гирлянды изоляторов при соответствующих параметрах тока молнии. Определение коэффициента ответвления тока молнии в ближайшую опору выполнено с помощью схемы замещения, представленной на рис. 1.

Расчетная формула для определения тока в опоре, как и в случае удара молнии в опору, получена без учета индуктивности опоры.

$$I_{\text{оп}} = \frac{0,5Z_M I_M}{R_{\text{и}} + 0,5Z_{\text{трк}} + Z_M(1 + R_{\text{и}}Z_{\text{трк}}^{-1})} = \psi_1 I_M.$$

Если не учитывать волновое сопротивление канала молнии ( $Z_M = \infty$ ), то ток в опоре будет определяться как

$$I_{\text{оп}} = \frac{0,5Z_{\text{трк}} I_M}{R_{\text{и}} + Z_{\text{трк}}} = \psi_2 I_M$$

Таким образом, различие токов в опоре, рассчитанных без учета волнового сопротивления канала молнии и с его учетом будет определяться соотношением коэффициентов ответвления  $\psi_2/\psi_1$ .

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = 1 + \frac{Z_{\text{тр}}(R_{\text{и}} + 0,5Z_{\text{тр}})}{Z_{\text{м}}(R_{\text{и}} + Z_{\text{тр}})}$$

Расчеты, выполненные для ВЛ 110 кВ на опорах ПБ 110-1, защищенных тросами С-50 при  $R_{\text{и}}=10$  Ом, показывают что обратные перекрытия гирлянд при ударе молнии в трос в середине пролета происходят в диапазоне токов молнии от 60 до 150 кА в зависимости от их крутизны. При этом волновое сопротивление канала молнии изменяется в пределах от 360 до 700 Ом. Расчет соотношения  $\psi_2/\psi_1$  для этих значений сопротивления показывает, что не учет волнового сопротивления  $Z_{\text{м}}$  приводит к завышению тока в опоре в 1,35 – 1,68 раза, и следовательно, к завышению удельного числа грозových отключений ВЛ.

Обратные перекрытия гирлянд изоляторов ВЛ 220 кВ на опорах ПБ 220-1 ( $R_{\text{и}}=10$  Ом) при ударе молнии в трос в середине пролета возникают при значениях тока молнии от 100 до 240 кА, что соответствует изменению волнового сопротивления канала молнии от 280 до 470 Ом. При этих значениях волнового сопротивления величины отношения  $\psi_2/\psi_1$  будут изменяться в пределах от 1,51 до 1,88. Таким образом не учет волнового сопротивления канала молнии может привести к еще большему завышению удельного числа отключений, чем для ВЛ 110 кВ аналогичного исполнения.

Расчеты показывают, что с повышением значения импульсного сопротивления заземления опоры отношения  $\psi_2/\psi_1$  увеличивается. В частности, для рассмотренных выше ВЛ при  $R_{\text{и}}=50$  Ом отношения  $\psi_2/\psi_1$  составили: для ВЛ 110 кВ 1,38 – 1,72, а для ВЛ 220 кВ – 1,55 – 1,95.

## Выводы

1. В расчетах удельного числа отключений ВЛ 110 – 220 кВ при ударе молнии в вершину опоры или в трос рядом с ней волновое сопротивление канала молнии можно не учитывать, так как оно влияет незначительно.

2. Волновое сопротивление канала молнии следует учитывать в расчетах удельного числа грозových отключений ВЛ 110 – 220 кВ при ударе молнии в трос в средней части пролета.

3. Влияние волнового сопротивления канала молнии на результаты расчета грозоупорности ВЛ повышается при увеличении значений импульсного сопротивления заземления опор.

## Литература

1. **Руководство** по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99 /Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева. – 2-ое издание. – СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.

2. **Техника** высоких напряжений: Учеб. для вузов / И.М. Богатенков, Ю.А. Бочаров, Н.И. Гумерова, Г.М. Иманов и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат. СПб отд-е, 2003. – 608 с

УДК 681.5.01; 681.5.017

Ю.С.ТВЕРСКОЙ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,  
А.В.ГОЛУБЕВ<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
И.К.МУРАВЬЕВ<sup>3</sup>, к.т.н., доц.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34

E-mail: [tverskoy@su.ispu.ru](mailto:tverskoy@su.ispu.ru)<sup>1</sup>, [kafsu@su.ispu.ru](mailto:kafsu@su.ispu.ru)<sup>2</sup>, [igor3724@mail.ru](mailto:igor3724@mail.ru)<sup>3</sup>

## **Оптимизация автоматической системы регулирования подачи питательной воды в прямоточный котлоагрегат при совместной работе ПТН и РПК**

**Аннотация.** Целью работы является исследование подачи питательной воды в котлоагрегат для поддержания правильного температурного режима работы всего котла, а также повышение эффективности работы энергоблока.

**Ключевые слова:** автоматическая система регулирования, котлоагрегат, математическая и имитационная модели, энергоблок.

Yu.S. TVERSKOY, doctor of engineering, professor,  
A.V. GOLUBEV, candidate of technical sciences, assistant professor,  
I.K. MURAVEV, candidate of technical sciences.

Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## **Optimization of automatic feed water supply control system in the direct flow boiler unit**

**Abstract.** The aim of the work is to research the supply of feed water to the boiler to maintain the correct temperature regime of the entire boiler, as well as improving the efficiency of the power unit.

**Key words:** automatic control system, boiler unit, mathematical and simulation models, power unit.

Регулирование подачи питательной воды в котлоагрегат является важной задачей для поддержания правильного температурного режима работы всего котла, а также повышение эффективности работы блока.

Изменение расхода питательной воды вызывает смещение границы между испарительной и перегревательной частями котла, что в свою очередь приводит к существенным изменениям температуры и давления пара на выходе, а также паропроизводительности парогенератора. Для поддержания и стабилизации температуры и давления по тракту теплоносителя необходимо поддерживать постоянное количество подаваемой питательной воды в котлоагрегат.

В связи с этим одними из основных регуляторов прямоточного котлоагрегата являются регуляторы подачи питательной воды (регуляторы питания).

Совместно с регуляторами питания каждого из потоков водопарового тракта котлоагрегата работает питательный турбонасос, который оказывает существенное влияние на поддержание расхода и давления питательной воды до котла.

В каждом из потоков баланс теплоносителя поддерживается локальным регулятором питания по отдельной нитке и при этом зависит от работы общего питательного турбонасоса. Обеспечение взаимосвязанной работы регуляторов с целью повышения экономичности работы тракта котлоагрегата является актуальной научно-технической задачей.

В связи с актуальностью данной темы, основной задачей является разработка АСР питания котлоагрегата, которая обеспечит согласованную работу регуляторов питания и эффективную работу энергоблока. Учитывая сложность данной задачи, в ее решении было выделено несколько этапов:

1. **На первом этапе** была разработана модель водопарового тракта котла ТГМП-314П. В ходе исследования проводились эксперименты при разных комбинациях значений зависимых факторов и в различных режимах работы оборудования. Проводить такие опыты на реальном объекте небезопасно и дорогостояще, поэтому для исследования была разработана имитационная модель водопарового тракта прямоточного котла.

Модель строится на основных физических законах взаимодействия сред в тракте [1]. В модели приняты некоторые допущения, которые не оказывают существенного влияния на технологический процесс и результат исследования в дальнейшем, работа модели адекватна в любых режимах работы оборудования.

2. **На втором этапе** было предложено новое решение по структуре системы автоматического регулирования подачи питательной воды в котлоагрегат.

Для поиска нового решения был использован метод обобщенного термодинамического анализа [2], в результате которого можно получить строгое теоретическое обоснование управляемых координат объекта управления в структуре АСУТП и общий критерий эффективности системы. Был проведен термодинамический анализ системы питания с выделением работ в каждом элементе водопарового тракта, разработан обобщенный потоковый граф работ (см. рис. 1).

На базе анализа работ и параметров выделены новые сигналы по минимальному перепаду давления на питательных клапанах каждого из потоков. Перепад давления меняется в зависимости от режима работы и характеризуется степенями открытия клапанов, поэтому новым решением является схема с сигналами по указателям положения регулирующих питательных клапанов. Анализ показал, что

экономичность и эффективность работы питательного тракта будет достигаться за счёт поддержания максимальной степени открытия РПК и минимальной загрузки ПТН.

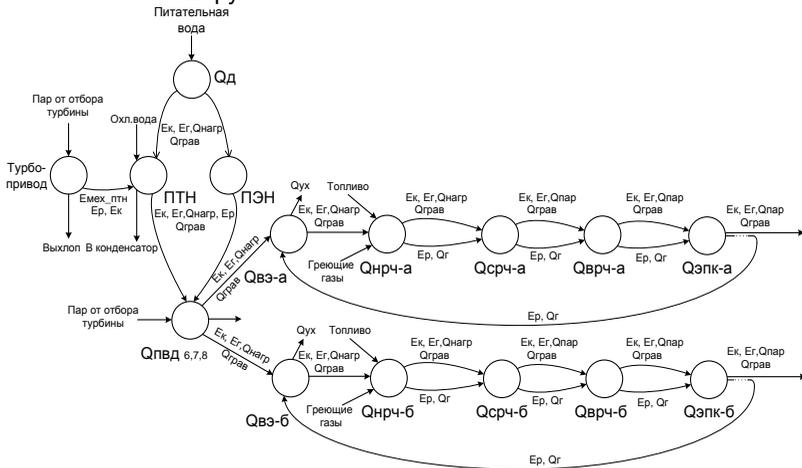


Рис.1. Обобщенный потоковый граф работ для водопарового тракта котлоагрегата

На основе существующих и выделенных в обобщенном термодинамическом анализе параметров, была разработана АСП питания для совместной работы регулирующих клапанов ПТН и РПК. Проведен структурный и параметрический синтез нового технического решения, разработана расчетная структура системы регулирования питания котлоагрегата.

3. **На третьем этапе** было проведено экспериментальное испытание разработанной системы управления. Проведен ряд экспериментов при нанесении возмущений по расходу питательной воды и получены переходные процессы.

Исходя из результатов экспериментов, можно сделать вывод, что расход пара на ПТН снижен, что дает экономию и дальнейшую полезную работу для турбины. Таким образом, разработанная схема регулирования позволяет повысить эффективность работы энергоблока в целом.

## Литература

1. **Теория и технология** систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 3. Моделирование / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Тверского / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 176 с.

2. **Теория и технология** систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 2. Проектирование / Под общей ред. д-ра

техн. наук, проф. Ю.С. Тверского / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 436 с.

УДК 681.5.017  
УДК 681.513.66

Ю.С.ТВЕРСКОЙ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,  
А.В.ГОЛУБЕВ<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
И.К.МУРАВЬЕВ<sup>3</sup>, к.т.н., доц.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34

E-mail: [tverskoy@su.ispu.ru](mailto:tverskoy@su.ispu.ru)<sup>1</sup>, [kafsu@su.ispu.ru](mailto:kafsu@su.ispu.ru)<sup>2</sup>, [igor3724@mail.ru](mailto:igor3724@mail.ru)<sup>3</sup>

## **Методические особенности оценки меры адекватности нелинейных математических моделей и полимодельных комплексов**

**Аннотация.** Целью работы является разработка общей методики настройки нелинейной модели (имитационной модели полимодельного комплекса) взаимосвязанного оборудования энергоблоков с парогазовыми установками (ПГУ) и возможности использования моделей в структуре multifunctional АСУТП. Выполнен также анализ особенностей моделирования сложного тепломеханического оборудования электростанций с ПГУ.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, математическая и имитационная модели, оценка адекватности, верификация, режимные факторы.

Yu.S. TVERSKOY, doctor of engineering, professor,  
A.V. GOLUBEV, candidate of technical sciences, assistant professor,  
I.K. MURAVEV, candidate of technical sciences.

Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## **Methodological features of the adequacy measure assessment of nonlinear mathematical models and polymodel complexes**

**Abstract.** The aim of the work is to develop a common methodology for setting up a non-linear model (simulation model of a polymodel complex) of interconnected equipment of power units with combined-cycle plants (CCGT) and the possibility of using models in the structure of multifunctional process control systems (APCS). The analysis of modeling features of complex thermomechanical equipment of power plants with CCGT was also performed.

**Key words:** combined cycle plant, mathematical and simulation models, adequacy assessment, verification, operational factors.

Современный этап развития электроэнергетики дает АСУТП на базе ПТК новый импульс развития. Технология проектирования multifunctional АСУТП на базе ПТК предусматривает широкое использование математических моделей взаимосвязанного

технологического оборудования энергоблоков тепловых электростанций [1-4].

Разработка высокоточных математических моделей сложного тепломеханического оборудования (ТМО) электростанций создает возможность уже на ранних стадиях функционального проектирования рассмотреть особенности проектируемых технических решений, осуществить своевременную подготовку эксплуатационного персонала и др.

В последние годы в мировой энергетике введено в эксплуатацию большое количество парогазовых энергоблоков. Несмотря на то, что энергоблоки с ПГУ обладают целым рядом известных преимуществ, для них характерен ряд существенных отрицательных факторов, которые влияют как на снижение экономичности оборудования, так и его эксплуатационной надежности.

В состав энергоблока ПГУ входит следующее основное оборудование: газотурбинная установка (ГТУ) с генератором (их количество определяется тепловой схемой); котел-утилизатор (КУ) (их количество также определяется тепловой схемой); паровая турбина (ПТ) с генератором и конденсационной установкой.

Выделим некоторые особенности ПГУ как объекта управления, содержащего активную часть с ГТУ и пассивную утилизационную часть, состоящую из КУ и ПТ.

Во-первых, это существенно отличающиеся динамические свойства ГТУ, КУ и ПТ. Во-вторых, диапазон регулирования электрической нагрузки ГТУ и ПГУ является величиной, зависящей от климатических факторов (например, температуры наружного воздуха) и режима работы энергоблока (особенно на пониженных нагрузках). В-третьих, значительный информационный масштаб системы, составляющий нескольких тысяч точек контроля, при этом в полной мере, как правило, эффективно не используется [5,6].

Выделенные особенности необходимо учитывать при разработке математических и имитационных моделей для полноценного использования в составе многофункциональных АСУТП.

Другая особенность ПГУ, связанная с тем, что во время эксплуатации энергоблока изменяется его экономическая эффективность, которая существенно зависит от многих режимных факторов, исследование влияния которых в эксплуатационных условиях практически невозможно, во-первых, по причине существенных рисков, а во-вторых, вследствие невозможности непосредственного контроля многих технологических параметров [5,6].

Решение задачи получения необходимых сведений о состоянии объекта управления может быть получено путем построения и использования всережимных динамических моделей оборудования энергоблоков с последующей интеграцией соответствующих имитационных моделей в среду реального времени ПТК АСУТП. Что

позволит совершенствовать АСУТП в направлении интеллектуализации систем автоматизации технологического оборудования [2-4,6].

При разработке всережимных математических моделей необходимы точные данные о ходе протекания процессов в энергоблоке и его технологических элементах (компрессор, камера сгорания и др.). Однако в реальных условиях некоторые параметры определяются косвенным путем или недоступны для непосредственного контроля вовсе, что приводит к недостаточности исходных данных для моделируемых процессов и, как следствие, к ограничению возможностей модели, особенно ее устойчивой работы в переменных режимах. Все это приводит к упрощению процессов, моделируемых в ГТУ, и снижает практическую ценность получаемых результатов.

Другая особенность моделирования заключается в том, чтобы обоснованно выбрать приемлемую степень сложности модели для реализации ее в информационно-технологической среде АСУТП, в системообразующей структуре которой функционирует оборудование.

Важным этапом является оценка меры адекватности, которая осуществляется путем вывода нелинейной математической модели (имитационной модели полимодельного комплекса) на режим, соответствующий, во-первых, тепловому расчету завода-изготовителя оборудования на разных нагрузках, во-вторых, на параметры режимной карты.

Общая методика настройки нелинейной модели, имеющей инвариантную и варьруемую части, сводится к последовательному (итерационному) уточнению начальных условий и коэффициентов модели, перепадов давлений на технологических участках, тестируются переходные процессы по различным параметрам.

Численную оценку меры адекватности получаем, подавая на вход модели реальные тренды из архива АСУТП. На выходе результаты моделирования сравниваются с выходными параметрами архива АСУТП (рис. 1).

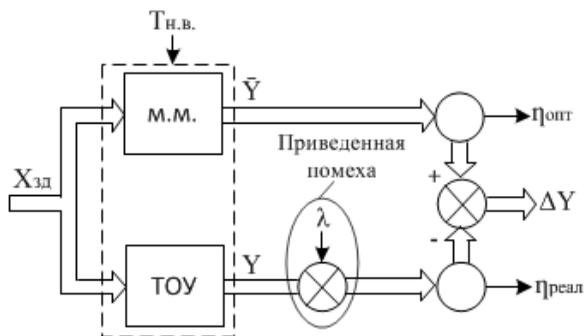


Рис. 1. К методике оценки адекватности технических решений

Методика оценки адекватности выполняется в несколько этапов.

Первый этап заключается в определении соответствия с результатами тепло-гидравлического расчета. При этом используются статические данные, полученные по результатам тепло-гидравлических расчетов оборудования при различной нагрузке.

Второй этап заключается в сравнении эксплуатационных трендов из архива АСУТП и данных из режимной карты при разных значениях условиях внешней среды. При этом уточняются коэффициенты модели, а также устанавливаются входные параметры в модели на значения согласно испытаниям.

Третий этап заключается в нахождение значений абсолютных и относительных максимальных погрешностей, СКО на заданном интервале времени и проч., что может служить количественной оценкой меры адекватности.

При этом для линеаризованной математической модели необходимо обеспечить совпадение динамических характеристик модели и объекта в частотной области. В случае если адекватность модели в частотной области не доказана, то разработанная модель не может быть применена для синтеза и анализа систем автоматического управления в составе АСУТП.

Изложенная технология решения задачи позволяет рассматривать нелинейную динамическую математическую модель объекта как эталонную, настраиваемую на соответствующие режимные условия энергоблока и учитывающую при этом динамические свойства каналов управления.

### Литература

1. **Тверской, Ю.С.** О новом классе АСУТП, оснащаемых математическими моделями управляемого технологического оборудования / Ю.С. Тверской, С.А. Таламанов // Теория и практика построения и функционирования АСУТП: Труды Международ. науч. конф. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – С. 217–220.

2. **Тверской, Д.Ю.** Задачи и проблемы совершенствования АСУТП энергоблоков в направлении их интеллектуализации / Д.Ю. Тверской, Ю.С. Тверской // Сб. докл. IV Всеросс. науч. конф. «Управление и информационные технологии». – СПб.: ЛЭТИ, 2006. – С. 230-237.

3. **Куприяновский, В.П.** Энергетика, Smart Grid, интеллектуальные промышленные решения в области энергетики / В.П. Куприяновский, А.Г. Богданов, С.А. Волков, С.А. Синягов // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №4. – С. 12-16.

4. **Голубев, А.В.** Информационно-вычислительный комплекс АСУТП электростанций для бакалавров направлений: 27.03.04 "Управление в технических системах", 09.03.01 "Информатика и вычислительная техника": учебно-методическое пособие / А. В. Голубев, И. К. Муравьев; ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". – Иваново: Б.и., 2019. – 116 с.

5. **Муравьев, И.К.** Технология и методология разработки полимодельных комплексов для АСУТП энергоблоков с парогазовыми установками / И.К.

Муравьев, Ю.С. Тверской [и др.] // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018.– Вып. 3.– С. 20-28.

6. **Тверской Ю.С., Муравьев И.К.** Оптимизация управляемых процессов в парогазовых установках (новые разработки и исследования) / Материалы Межд. конф.: «Современные проблемы теплофизики и энергетики»: в 2 т., М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – Том 2. – С. 201-202.

**УДК 502.5**

Н.А. Еремина, к.т.н., доцент  
М. Ларин, д.т.н., профессор

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: zavkaf@xste.ispu.ru

## **Проблемы подготовки экологических кадров для теплоэнергетики**

**Аннотация:** решение основных задач в области обеспечения экологической безопасности должно осуществляться, в том числе, и в направлении развития системы экологического образования и просвещения, повышения квалификации кадров. Несмотря на большой перечень экологических дисциплин, проблем с их преподаванием и формированием вышеуказанных компетенций возникает достаточно много. Материально-техническое обеспечение учебного процесса в настоящее время существенно отстает от реальностей производства. Вторая проблема, возникающая при подготовке учебно-методической литературы по экологическим дисциплинам, это быстро и часто меняющееся, особенно в последние годы, природоохранное законодательство. Третья проблема – это возможность и организация прохождения производственной практики в экологических структурах предприятий энергетики. Таким образом, следует обратить больше внимания на подготовку специалистов по профилю инженерной защиты окружающей среды – завтрашних исполнителей программы обеспечения экологической безопасности в теплоэнергетике.

**Ключевые слова:** экологические требования, условия подготовки кадров, проблемы организации практического обучения экологов, программы, методы и приборы для обучения по направлению «Техносферная безопасность».

N. A. EREMINA, Candidate of Engineering, docent  
B. M. LARIN, Doctor of Engineering, professor  
Ivanovo State Power University  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya str. 34  
E-mail: zavkaf@xste.ispu.ru

## **Problems of training of ecological personnel for heat power industry**

**Abstract:** the solution of the main tasks in the field of environmental safety should be carried out, including in the direction of development of the system of environmental education and education, training of personnel. Despite the large list of environmental disciplines, there are a lot of problems with their teaching and the formation of the above competencies. Material and technical support of the

educational process is currently significantly behind the realities of production. The second problem that arises in the preparation of educational and methodical literature on environmental disciplines is the rapidly and frequently changing, especially in recent years, environmental legislation. The third problem is the possibility and organization of practical training in the environmental structures of energy enterprises. Thus, it is necessary to pay more attention to the training of specialists in the profile of engineering environmental protection-tomorrow's performers of the program to ensure environmental safety in the heat and power industry.

**Keywords:** environmental requirements, training conditions, problems of organization of practical training of ecologists, programs, methods and devices for training in the direction of "Technosphere safety".

Экологическая безопасность – это состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий (ФЗ «Об охране окружающей среды», 2002 г.). Кроме того, категория «экологическая безопасность» закреплена Конституцией РФ (ст. 72), Законом «О безопасности» (ст. 13) и др. нормативными актами.

Решение основных задач в области обеспечения экологической безопасности должно осуществляться, в том числе, и в направлении развития системы экологического образования и просвещения, повышения квалификации кадров.

При подготовке студентов ИГЭУ на кафедре ХХТЭ по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника» одной из основных профессиональных компетенций, формируемых в ходе обучения, является «способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве», а для направления «Техносферная безопасность» – «готовность осуществлять проверки безопасного состояния объектов различного назначения, участвовать в экспертизах безопасности, регламентированных действующими государственными требованиями». Для формирования этих компетенций предусмотрены общая дисциплина «Экология» и ряд специальных дисциплин:

Несмотря на большой перечень экологических дисциплин, проблем с их преподаванием и формированием вышеуказанных компетенций возникает достаточно много. Материально-техническое обеспечение учебного процесса в настоящее время существенно отстает от реальностей производства.

Выпускники кафедры, начинающие работать в экологических структурах на ТЭС, указывают именно на то, что им не хватает практики работы с приборами контроля и мониторинга окружающей среды. В то же время работодатели отмечают у наших выпускников хорошую теоретическую подготовку, умение проводить практические расчеты и

аналитические измерения (лабораторные анализы) и работать с природоохранными документами.

Вторая проблема, возникающая при подготовке учебно-методической литературы по экологическим дисциплинам, это быстро и часто меняющееся, особенно в последние годы, природоохранное законодательство.

Третья проблема – это возможность и организация прохождения производственной практики в экологических структурах предприятий энергетики. К сожалению, при переходе на образовательные программы бакалавриата существенно сократилось время прохождения практики на производственных объектах. За 4 года обучения студент может пройти серьезную практику на предприятии только один раз в течение 4 недель летом после 3-х лет обучения. В это время большая часть оборудования ТЭЦ, куда чаще всего выезжают на практику, находится в простое, и изучить в полной мере работу, например, газоочистных установок не представляется возможным. Да и не все предприятия охотно предоставляют экологическую информацию студентам вузов, ссылаясь на закрытость этой тематики на предприятии.

Выводы:

1. Повышение экологической безопасности теплоэнергетических предприятий РФ необходимо, ввиду физического и морального старения существующих сооружений; возможно – на основании действующих законов и указов Президента РФ от 19.04.2017 г. (№ 176) и может быть реализовано с использованием накопленного опыта эксплуатации водной среды и имеющихся технологических разработок на ТЭС и АЭС.

2. Следует обратить больше внимания на подготовку специалистов по профилю инженерной защиты окружающей среды – завтрашних исполнителей программы обеспечения экологической безопасности в теплоэнергетике.

#### **Литература**

1. ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления / С.П. Филиппов, М.Д. Дильман // Теплоэнергетика: журнал.— Москва: ООО МАИК "Наука/Интерпериодика".— 2018.— №11. – С.5 – 22.

2. Водный режим системы охлаждения вспомогательного оборудования ПГУ / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика: журнал.— Москва: ООО МАИК "Наука/Интерпериодика".— 2013.— №4. – С.48 – 53.

3. Проблемы эксплуатации водоема-охладителя на примере Березовской ГРЭС-1 / О.Г. Морозова, Т.Л. Камоза, И.Н. Коюлченко, А.С. Савельев, Р.З. Пен, Н.С. Веселкова, М.Д. Кудрявцев // Теплоэнергетика: журнал.— Москва: ООО МАИК "Наука/Интерпериодика".— 2017.— №8. – С.81 – 88.

## **Проблемы обработки воды и защиты водного бассейна в условиях эксплуатации энергоблоков электростанций**

**Аннотация:** строящиеся энергоблоки ТЭС и АЭС проектируется, как правило, на базе действующих электростанций, что увеличивает экологическую нагрузку на используемый водный бассейн. Недостаточный учет такого фактора может привести к условиям экологического риска, как например, на Берёзовской ГРЭС-1(Западная Сибирь). Возможными путями улучшения ситуации может быть предварительное охлаждение воды в градирнях (Калининская АЭС) и подбор реагентов для коррекции водного режима, например, на основе органических аминов семейства ВТИАМИН. Большой вклад в солевой сброс электростанций со сточными водами вносят их водоподготовительные установки. Улучшение экологических характеристик в этой части может достигаться на базе существующих установок нейтрализации стоков с учетом опыта выпаривания токсичных стоков АЭС.

**Ключевые слова:** водопотребление и водоотведение на электростанциях РФ, экологические характеристики водоема - охладителя, водный режим систем оборотного охлаждения, утилизация стоков водоподготовительных установок.

B. M. LARIN, Doctor of Engineering, professor  
N. A. EREMINA, Candidate of Engineering, docent  
Ivanovo State Power University  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya str. 34  
E-mail: [zavkaf@xte.ispu.ru](mailto:zavkaf@xte.ispu.ru)

## **Problems of water treatment and protection of the water basin in operation of power plants**

**Abstract:** power units of thermal power plants and nuclear power plants under construction are designed, as a rule, on the basis of existing power plants, which increases the environmental burden on the used water basin. Insufficient consideration of this factor can lead to environmental risk conditions, such as at Berezovskaya GRES-1 (Western Siberia). Possible ways to improve the situation may be pre-cooling of water in cooling towers (Kalinin NPP) and the selection of reagents for the correction of the water regime, for example, on the basis of organic amines of the VTIAMIN family. A large contribution to the salt discharge of power plants with wastewater is made by their water treatment plants. Improvement of environmental characteristics in this part can be achieved on the basis of existing wastewater neutralization plants, taking into account the experience of evaporation of toxic wastewater from nuclear power plants.

**Keywords:** water consumption and wastewater disposal at power plants of the Russian Federation, environmental characteristics of the cooling pond, water regime of circulating cooling systems, utilization of wastewater treatment plants.

Современное состояние российской теплоэнергетики характеризуется ростом числа энергоблоков ПГУ мощностью от 10 МВт

до 800 МВт, вводом ряда блоков АЭС с ВВЭР мощностью 1000-1200 МВт и общим старением оборудования ГРЭС и ТЭЦ, суммарно производящих более половины всей вырабатываемой электроэнергии и пущенных в работу, в основном, в 70-х- 80-х годах прошлого века [1]. Вновь вводимые блоки часто монтируются на территории действующих ТЭС с использованием готовой инфраструктуры и, фактически, являют собой расширение электростанций с замещением выбывающих мощностей. Такой подход позволяет при минимальных затратах времени и средств поддерживать на высоком уровне качество и увеличивать количество вырабатываемой электрической энергии.

В этих условиях не всегда уделяется должное внимание экологическим вопросам. Часто, вновь вводимые блоки не содержат систем очистки стоков, тогда как очистные сооружения действующих электростанций устарели морально и физически. Такая ситуация имеет место как на крупных электростанциях, например, на Берёзовской ГРЭС-1, так и на небольших, например, Ивановских ПГУ. Ивановские ПГУ в составе двух энергоблоков смонтирована на базе Ив ГРЭС – электростанции, пущенной в 30-х годах прошлого века по плану ГОЭЛРО. Необходимость химических очисток оборудования и отсутствие установки нейтрализации и очистки стоков вынуждают персонал принимать компромиссные решения, например, паро-водо-кислородные промывки основных контуров, промывки вспомогательных контуров аминокислотными реагентами, ориентируясь, прежде всего, на допустимые нормативы веществ в сбросных водах [2].

На Берёзовской ГРЭС-1 (БГРЭС-1) запланировано 6 блоков с оборотной системой технического водоснабжения. Водоем-охладитель Берёзовская ГРЭС-1 создан регулированием стока реки Берёшь в районе впадения в неё рек Базыр и Кадат в юго-восточной части Кузнецкого Алатау.

Такие факторы, как преимущественное ветровое направление, естественное течение и циркуляционный поток охлаждающей воды, приводит к скоплению в районе правобережья, где находится водозабор ГРЭС, загрязнений, провоцирующих эвтрофирование водоема, что влечёт за собой экономический ущерб техническому водоснабжению теплоэлектростанций и создаёт ситуацию экологического риска.

В общем случае уменьшение теплового загрязнения водоёма-охладителя может достигаться предварительным охлаждением нагретой воды в башенных градирнях. Такое решение принято, например, на Калининской АЭС.

Несколько лет назад в ВТИ освоена разработка отечественных реагентов на основе органических аминов с общим названием ВТИАМИН для коррекционной обработки охлаждающей воды конденсаторов паровых турбин. Исследование и применение такого реагента ВТИАМИН на Калининградской ТЭЦ-2 позволило отказаться

от использования серной кислоты, провоцирующей превышение ПДК стоков по сульфатам.

Наряду с системами охлаждения конденсаторов паровых турбин основным потребителем природной воды на электростанциях является водоподготовительные установки (химводоочистки). Они же составляют основной сброс солевых компонентов со стоками.

Удешевление и разработка проектов по очистке стоков может быть выполнена с использованием опыта концентрирования стоков на атомных электростанциях и с учетом имеющегося оборудования нейтрализации и очистки стоков на ТЭС. Так, например, подготовка обессоленной воды на Костромской ГРЭС.

**Выводы:**

В числе экологических проблем теплоэнергетики имеет место

1. Недостаточный учет природных условий при расширении электростанции.
2. Потребность замене традиционных ингибиторов отложений и коррозии на эффективные органические соединения.
3. Недостаточное использование отечественного опыта и научных разработок в вопросах экологического совершенствования ТЭС.

#### **Литература**

1. ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления / **С.П. Филиппов, М.Д. Дильман** // Теплоэнергетика: журнал.— Москва: ООО МАИК "Наука/Интерпериодика".— 2018.— №11. — С.5 – 22.
2. Водный режим системы охлаждения вспомогательного оборудования ПГУ / **Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин, А.Б. Ларин** // Теплоэнергетика: журнал.— Москва: ООО МАИК "Наука/Интерпериодика".— 2013.— №4. – С.48 – 53.

УДК 621.321

Е.Н. БУШУЕВ, д.т.н., доцент, Н.В. БУШУЕВА

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: zavkaf@tot.ispu.ru

## **Применение информационных технологий для выполнения технологического расчета водоподготовительных установок на ТЭС**

**Аннотация.** В работе представлен разрабатываемый программный продукт, позволяющий проводить технологических расчет основных схем обессоливания воды на ТЭС, определять технологические и экологические показатели.

**Ключевые слова:** ТЭС, информационные технологии, водоподготовка, компьютерная программа, технологический расчёт.

E.N. BUSHUEV, Doctor of Engineering, assistant professor, N.V. BUSHUEVA  
Ivanovo State Power Engineering University  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: zavkaf@tot.ispu.ru

## **Information technology application to perform technological calculation water treatment at thermal power plants**

**Abstract.** The paper presents the developed software product that allows to carry out technological calculation of the main schemes of desalting water at thermal power plants, to determine technological and environmental indicators.

**Key words:** TPP, information technologies, water treatment, computer program, technological calculation.

При проектировании водоподготовительной установки (ВПУ) выполняются проектные расчёты с целью определения основных технологических характеристик, потребности в реагентах и воде на собственные нужды, а также выбора основного и вспомогательного оборудования. Для выполнения подобных расчётов широко разработаны математические модели [1] и применяются расчётные методики [2]. Для реализации подобных моделей систем водообработки обычно используется математический пакет MathCad, однако его применение ограничено не сложными моделями.

Известные программы по расчету ВПУ («ROSA», «CADIX», «IMSDesign», «NanoTechPRO» и др.) предназначены для технологического расчета только одной схемы обессоливания или даже лишь одной стадии водообработки.

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ разрабатывается программный продукт (ПП) «ПРОЕКТ ВПУ» [3, 4] позволяющий смоделировать большое количество схем ВПУ из ее отдельных элементов и провести их технологический расчет.

Укрупненная блок-схема ПП «ПРОЕКТ ВПУ» приведена на рис. 1.

В начале расчета производится изменение (возмущение) потока исходной воды по «воде» – задаются показатели качества исходной воды, что заставляет рассчитать изменение показателей качества воды по стадиям обработки. После окончания расчетов по «воде» вводится возмущение по расходу обессоленной воды, это заставляет проводить расчеты схемы с «хвоста» схемы по производительности. Такая методика дает возможность рассчитать практически любую по сложности схему водоподготовки, позволяет вводить новые ММ элементов водоподготовки, увеличивает точность расчета, отказаться от ряда упрощений, которые используются при традиционных расчетах.

ПП «ПРОЕКТ ВПУ» позволяет в рамках одного проекта (объединение схем) проводить полный технологический расчет для различных схем обессоливания и разных исходных данных. В связи с тем, что для конкретных исходных данных редко можно предложить оптимальную схему по всем критериям (экологическим, технологическим и технико-экономическим), в программе рассчитываются все эти показатели, а выбор оптимального варианта выполняется пользователем.

ПП может находиться в четырех состояниях:



Рис. 1. Укрупненная блок-схема ПП «ПРОЕКТ ВПУ»

- ввод изображения схемы водообработки;
- ввод необходимых данных для расчета;
- расчет схемы водообработки;
- представление результатов расчета.

На первом этапе пользователь komponует на экране монитора с помощью специального встроенного графического редактора расчетную схему водообработки из элементов различных типов (осветлителя, Na-катионитных фильтров, испарителя и т.д.) и визуально определяет связи между ними. После создания схемы программа переходит в режим ввода данных, на этом этапе для элементов схемы (оборудования) вводятся необходимые для расчета исходные данные.

После ввода всех требуемых данных приступают к расчету схемы водообработки путем выбора иконки «расчет». На первом этапе расчета проводится проверка на наличие обязательных элементов («источник воды», «потребитель воды») в схеме, а также проверка на корректность созданных связей между элементами схемы, которая определяется достаточностью данных для расчета. При обнаружении ошибок в окне сообщений указывается на неправильное соединение.

После проведения расчета программа переходит в режим представления результатов расчета, в ходе которого можно получить результаты проведенного расчета для любого отдельного элемента, а также общий отчет для схемы в целом. Результаты расчета могут быть распечатаны или записаны в текстовый файл формата rtf.

Применение ПП в процессе обучения студентов позволит использовать современный уровень проведения технологических расчетов, комплексный подход по характеристике технологий водоподготовки и дает возможность сосредоточиться на принятии технологических решений.

### Литература

1. **Бушуев, Е.Н.** Основы математического моделирования химико-технологических процессов водообработки на ТЭС: учебное пособие / Е.Н. Бушуев; ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". –Иваново:, 2018. –168 с.
2. **Лифшиц, О.В.** Справочник по водоподготовке котельных установок малой мощности / О.В. Лифшиц. –М.: Энергия, 1969. –144 с.
3. **Технологический** расчет водоподготовительной установки ТЭС и АЭС (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ) / Е.Н. Бушуев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016663460. Дата поступления 17 октября 2016 г., зарегистрировано 7 декабря 2016 г.
4. **Обработка** воды на ТЭС и АЭС / Б. М. Ларин, Е.Б. Юрчевский, В.В. Гостьков, А.Б. Ларин, Е.Н. Бушуев // ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". –Иваново:, 2010.–348 с.

УДК 621.311.22

Ю.Е. БАРОЧКИН, аспирант, Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, д.т.н., доцент  
А. Я. КОПСОВ, д.т.н., профессор

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
E-mail: [admin@tes.ispu.ru](mailto:admin@tes.ispu.ru)

## **Эффективность применения кавитационно-струйного деаэратора в системах возврата конденсата отдаленных внешних потребителей ТЭС**

**Аннотация:** Определены основные параметры и обоснована эффективность технического решения, предусматривающего установку кавитационно-струйных деаэраторов в системах возврата конденсата внешних потребителей. Разработано математическое описание, позволяющее определять требуемую производительность деаэраторов и кратность рециркуляции воды через них, необходимую в каждом режиме.

**Ключевые слова:** система возврата конденсата технологического пара, коррозия, термическая деаэрация, деаэрационное устройство, кавитационно-струйный деаэратор, математическая модель.

Y.E. BAROCHKIN postgraduate student,  
G.V. LEDUHOVSKY Doctor of Engineering, associate professor,  
A. Ya. KOPSOV Doctor of Engineering, professor

Ivanovo State Power Engineering University,  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34  
E-mail: [admin@tes.ispu.ru](mailto:admin@tes.ispu.ru)

## **Efficiency of the use of cavitation-jet Deaerator in condensate return systems of remote external consumers of thermal power plants**

**Abstract:** The main parameters are determined and the effectiveness of the technical solution, which provides for the installation of cavitation-jet deaerators in condensate return systems of external consumers, is substantiated. A mathematical description has been developed to determine the required performance of deaerators and the frequency of water recirculation through them, necessary in each mode.

**Key words:** process steam condensate return system, corrosion, thermal deaeration, deaeration device, cavitation-jet deaerator, mathematical model.

На ТЭС эксплуатируются технологические системы возврата конденсата пара отдаленных внешних потребителей, в которых необходимо обеспечить защиту металла от коррозии и за счет этого выполнить нормативные требования по концентрации соединений

железа в поступающем на электростанцию конденсате. В таких системах отсутствует возможность применения эффективных термических деаэраторов, но является перспективным использование деаэраторов перегретой воды, например кавитационно-струйных (ДКС). Требуется выбрать рациональный вариант реализации такого технического решения и оценить его эффективность, то есть определить влияние работы нового элемента системы – деаэратора – на нормируемые химические показатели возвращаемого конденсата.

Для решения задач исследования требуется располагать:

- математической моделью ДКС, которая позволяла бы определять показатели эффективности деаэрации воды при изменении режимных параметров устройства;

- математической моделью коррозионных процессов в системах возвратного конденсата, связывающей теплогидравлические параметры работы конденсатопровода и концентрацию растворенного кислорода в конденсате на входе в него с нормируемым параметром – концентрацией соединений железа в конденсате на выходе из конденсатопровода.

Математическая модель ДКС представлена следующими основными соотношениями [1]:

$$\zeta = 1 - \frac{C}{C_0} = 1 - \left( 1 + b \frac{Ar}{Ku} \right)^{-1}; \quad (1)$$

$$Ar = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{п}} - 1; \quad Ku = \frac{r}{c_p \Delta t}; \quad b = 0,37 - 0,18g + 0,0070 \Delta t_{вх};$$

$$\Delta t_{вх} = t_{вх} - t_s; \quad g = G/G_n,$$

где  $\zeta$  – эффект деаэрации, ед.;  $C$  и  $C_0$  – массовые концентрации растворенного в воде кислорода соответственно на выходе и входе ДКС, мг/дм<sup>3</sup>;  $b$  – эмпирический поправочный коэффициент;  $Ar$  и  $Ku$  – критерии Архимеда и Кутателадзе;  $\rho_{ж}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{п}$  – плотность сухого насыщенного пара, кг/м<sup>3</sup>, при давлении в деаэраторе  $p_d$ ;  $r$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг;  $c_p$ , кДж/(кг·град.) – удельная теплоемкость воды;  $\Delta t$ , °С – изменение температуры воды в ДКС;  $\Delta t_{вх}$ , °С – начальный перегрев воды перед деаэрационным устройством;  $t_{вх}$ , °С – температура воды на входе в ДКС;  $t_s$ , °С – температура насыщения при давлении  $p_d$ ;  $g$ , ед. – относительная гидравлическая нагрузка ДКС;  $G$  и  $G_n$  – соответственно текущая и номинальная гидравлическая нагрузка ДКС; значение  $r$  принимается по  $p_d$ , а  $\rho_{ж}$  и  $c_p$  – по средней температуре воды в деаэрационном элементе.

Математическое описание коррозионных процессов в трубопроводах возврата конденсата пара внешних потребителей принято по материалам исследований [2].

Рассматривался вариант установки кавитационно-струйного деаэратора по схеме рециркуляции через бак сбора конденсата, что в

сравнении с последовательной схемой позволяет уменьшить капитальные затраты, а также обеспечить работу деаэратора в режиме наибольшей эффективности. Получено математическое описание, позволяющее определять требуемую производительность деаэраторов и кратность рециркуляции воды через них, необходимую в каждом режиме работы системы.

В общем случае расход конденсата, поступающего в бак сбора конденсата, может не соответствовать расходу конденсата, возвращаемому на ТЭЦ (то есть уровень конденсата в баке может увеличиваться или уменьшаться). Для таких условий расчетные выражения для определения требуемого расхода  $G_{\text{ДКС, тр}}$  и требуемой кратности рециркуляции  $K_{\text{рец, тр}}$  примут вид:

$$G_{\text{ДКС, тр}} = \frac{1}{\zeta} \left[ G_0 \frac{C_0}{C_{\text{тр}}} - G_{\text{к}} \right]; \quad (2)$$

$$K_{\text{рец, тр}} = \frac{1}{\zeta} \left[ \frac{G_0}{G_{\text{к}}} \frac{C_0}{C_{\text{тр}}} - 1 \right], \quad (3)$$

где  $G_0$ , т/ч, и  $C_0$ , мг/дм<sup>3</sup> – соответственно суммарный расход конденсата, поступающего от потребителей в бак сбора конденсата, и средневзвешенное значение массовой концентрации растворенного кислорода в этом конденсате;  $C_{\text{тр}}$ , мг/дм<sup>3</sup> – требуемое значение массовой концентрации растворенного кислорода в конденсате, закачиваемом в трубопровод возвратного конденсата.

Эффект деаэрации в ДКС  $\zeta$  во всех приведенных выражениях при моделировании определяется по (1) с учетом температуры конденсата  $t_{\text{к}}$ , равной температуре воды  $t_{\text{вк}}$ , поступающей в ДКС.

Оценка эффективности предложенного технического решения выполнена на основе (1)–(3) с опорой на экспериментальные данные по ТЭС среднего давления (Ивановской ТЭЦ-1). По результатам исследований выявлено, что в большинстве режимов работы системы удастся обеспечить выполнение нормативных требований по массовой концентрации продуктов коррозии в возвращаемом на ТЭС конденсате (100 мг/дм<sup>3</sup> [3]).

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых и повышении эффективности существующих ТЭС, осуществляющих отпуск пара внешним потребителям.

## Литература

1. **Исследование** начального эффекта при десорбции растворенного кислорода в деаэраторах перегретой воды / Барочкин Ю.Е., Жуков В.П., Ледуховский Г.В., Барочкин Е.В. // Вестник ИГЭУ. – 2016. – вып. 5. – С. 5-10.

2. **Аван, В.К.** Совершенствование водно-химического режима ТЭЦ среднего давления : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / Аван Васим Кайсир. – Иваново, 2011. – 140 с. – Библиогр.: с. 124–133.

3. **Правила** технической эксплуатации тепловых электрических станций и сетей Российской Федерации : офиц. текст : утв. Приказом Минэнерго России №229 от 19.06.03: введ. в действие с 30.06.03 : зарег. в Минюсте России 20.06.03 №4799.

УДК 621.6.029

А.И. СОКОЛЬСКИЙ, д.т.н., профессор,  
О.Б. КОЛИБАБА к.т.н., доцент,  
Д.А. ДОЛИНИН, доцент,  
А.С. СЕМЕНОВ, аспирант

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: [tevp@tvp.ispu.ru](mailto:tevp@tvp.ispu.ru)

## **Моделирование пиролизной печи для переработки твердых коммунальных отходов**

**Аннотация:** в работе предложена конструкция установки для утилизации твердых коммунальных отходов методом окислительного пиролиза, обеспечивающая равномерное высушивание исходного сырья.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы; фрактал; геометрическая модель; губка Менгера; сушка; поле скоростей.

A.I SOKOLSKY, doctor of engineering, professor  
O.B. KOLIBABA, candidate of technical sciences, assistant professor  
D.A. DOLININ, assistant professor,  
A.S. SEMENOV, postgraduate student  
Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## **Modeling a pyrolysis furnace for the processing of municipal solid waste**

**Abstract:** The proposed design of the installation for the disposal of solid municipal waste by the method of oxidative pyrolysis, providing uniform drying of the feedstock.

**Key words:** municipal solid waste; fractal; geometrical model; Menger sponge; drying, velocity field.

В настоящее время задача переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) является остро актуальной. Экологическая и экономическая эффективность зависит от способа утилизации отходов. Самым распространенным методом утилизации является термический метод. Процесс термической переработки, чаще всего, осуществляется в печах шахтного типа. Влажные отходы загружаются в рабочее пространство печи и последовательно проходят зоны сушки и пиролиза, где происходит их разложение с получением горючего газа.

В зоне сушки осуществляется нагрев и высушивание слоя ТКО, что определяется равномерным полем скоростей.

За основу 3D-модели слоя ТКО взята фрактальная геометрия – «губка Менгера» [1], которая помещается в цилиндр (рис.1).

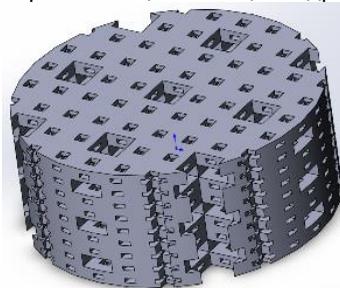


Рис. 1. Геометрическая модель слоя ТКО

Адекватность выбора данной модели доказана в работах [2, 3].

Геометрическая модель сушильной установки представляет собой цилиндр с патрубками для отбора газа (рис.2). Слой ТКО располагается внутри цилиндра. Отбор газа происходит до зоны сушки (до слоя ТКО) для нужд потребителя и после зоны сушки (после слоя ТКО) с последующим возвратом в зону пиролиза.

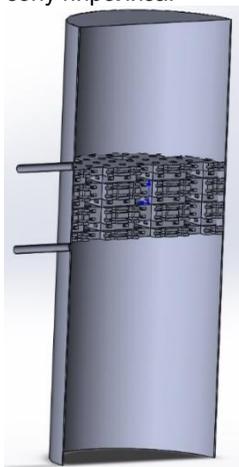


Рис. 2. Геометрическая модель сушильной установки в разрезе

Были построены геометрии с различным количеством патрубков для отбора газа (1, 2, 4 патрубка) т.к. выявлено, что их количество и расположение влияет на равномерность поля скоростей.

Наиболее равномерное распределение газа в слое ТКО получается при использовании четырех патрубков (рис.3).

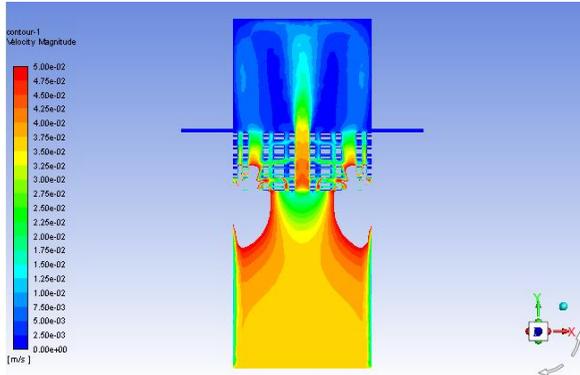


Рис. 3. Поле скоростей при четырех патрубках

На основе этих результатов, была предложена конструкция, обеспечивающая равномерное распределение скоростей (рис. 4.).

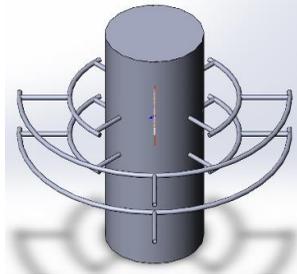


Рис. 4. Модель шахтной печи, обеспечивающая равномерное высушивание ТКО

Поле скоростей, которое обеспечивается данным конструктивным решением, представлено на рис. 5. Результаты, полученные моделированием в программном комплексе ANSYS Fluent, наглядно иллюстрируют равномерность распределения скоростей в корпусе и патрубках установки. Таким образом, очевидным является обеспечение равенства расходов теплоносителя в точках отбора.

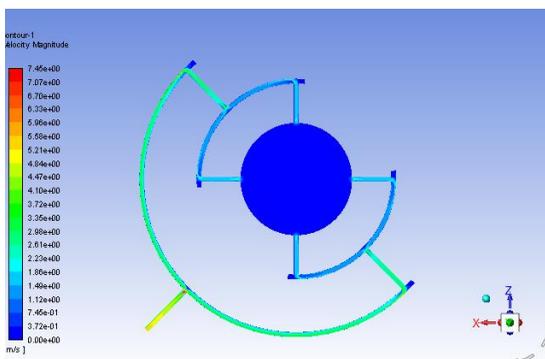


Рис. 5. Поле скоростей в сечении модели

### **Вывод.**

1. Разработана математическая модель слоя ТКО на основе фрактальной геометрии «губка Менгера».
2. Предложена конструкция установки для утилизации ТКО, обеспечивающая равномерное высушивание исходного сырья.

### **Литература**

1. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
2. *Разработка фрактальной модели гидродинамики в слое твердых коммунальных отходов в процессе производства газообразного топлива / В.А. Горбунов, О.Б. Колибаба, А.И. Сокольский, Д.А. Долинин, А.С. Семенов // Вестник ИГЭУ: Журнал.— Иваново: ООО "ПресСто".— 2018.— №2. – С.5 – 12.*
3. Определение гидравлического сопротивления слоя твердых коммунальных отходов / А.С. Семенов, Д.А. Долинин, О.Б. Колибаба // Тепловые и ядерные энерготехнологии: тринадцатая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 3-5 апреля 2018 г., г. Иваново. — Иваново: ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина".— 2018.— Т.2. – С.46 – 46.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПО УРОВНЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В.И. Колибаба

ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Россия

E-mail: kolibaba@eiop.ispu.ru

### **Аннотация**

Предлагается при разработке системы дифференциации тарифов на электроэнергию выделить базовый тариф, который будет включать все затраты на передачу и распределение электроэнергии, плату за системную надежность и

надбавку за надежность, которая будет отражать часть необходимой валовой выручки, направляемой на обеспечение выбранного уровня надежности энергоснабжения (в части надежности распределения электроэнергии). Представлены варианты категорирования потребителей для дифференциации тарифов по надежности электроснабжения и тарифное меню с разбивкой по уровням напряжения.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, тарифы на электроэнергию, уровень надежности, затраты на надежность, надбавка за надежность.

Чувствительность потребителей к отключениям электроэнергии постоянно возрастает, а вместе с ней растет и величина ущербов, возникающих при нарушении электроснабжения. Учитывая эту тенденцию, надежность электроснабжения является не проблемой отдельных компаний, а должна рассматриваться как основа устойчивости развития экономики отдельных регионов и целых стран.

Задача обеспечения надежности систем энергоснабжения включает в себя целый комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение ущерба от нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии. Кроме того, в современных рыночных условиях надежность энергоснабжения неразрывно связана с экономическими показателями и энергетической безопасностью промышленных предприятий.

Необходимо разделять понятие системной надежности и надежности распределения электроэнергии. Системная надежность является свойством всей электроэнергетической системы и, таким образом, распространяется на всех потребителей электроэнергии в одинаковой мере, поэтому и управлять этим видом надежности следует на более высоком уровне, чем внутрифирменный. А вот надежность распределения электроэнергии является свойством распределительных электрических сетей и распространяется на определенные группы потребителей. Поэтому каждая сетевая организация распределительного комплекса может непосредственно влиять на надежность своих сетей, и, как следствие, управлять своими экономическими рисками нарушения электроснабжения.

Как правило, масштабные нарушения электроснабжения возникают в результате комбинации множества маловероятных по отдельности факторов, и в связи с этим единственную причину или виновника таких аварий выявить очень трудно. Поэтому работа по управлению экономическими рисками, возникающими вслед за нарушением электроснабжения, требует комплексного подхода [1].

Таким образом, вопрос обеспечения надежности энергоснабжения представляется весьма актуальным и требует детальной проработки, в том числе и с точки зрения современной системы тарифообразования и стратегического планирования. Разработав методику построения тарифов, полностью учитывающую интересы потребителей с точки зрения надежности, и методику управления экономическими рисками

нарушения энергоснабжения можно получить идеальные инструменты для управления надежностью электроснабжения.

В соответствии с правилами технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей к электрическим сетям категория надежности электроснабжения потребителей определяется в процессе технологического присоединения к электрическим сетям. При этом потребитель самостоятельно определяет какая категория надежности энергоснабжения ему необходима.

Ранее требования по надежности определялись Правилами устройства электроустановок в рамках определения категории надежности. Сейчас нормы этого документа носят рекомендательный характер, и нормативные значения показателей надежности установлены только для потребителей 3 категории надежности. Для первой и второй категории надежности границы этих показателей определяются сторонами договора об электроснабжении индивидуально, но они не могут быть больше соответствующих величин, предусмотренных для третьей категории. Таким образом механизм категорирования потребителей в настоящее время теряет свое первоначальное значение. На смену ему приходит концепция клиентоориентированности, утвержденная в Стратегии развития электросетевого комплекса РФ в области надежности электроснабжения.

В качестве параметра, определяющего категорию надежности потребителя предлагается рассматривать тяжесть последствий от нарушения электроснабжения для потребителя. Можно выделить четыре степени тяжести последствий от прекращения работы потребителей, представленных ниже на рис. 1.

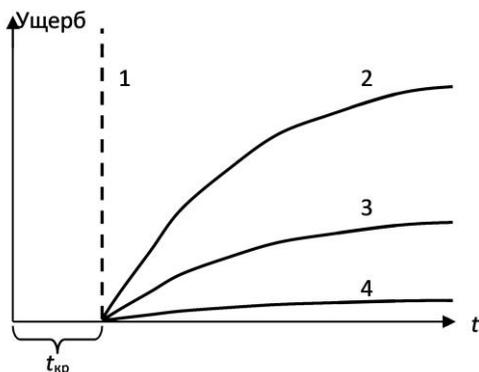


Рисунок 1. – Степени зависимости величины ущерба от продолжительности нарушения электроснабжения

Для реализации системы дифференцированных тарифов предлагается категорирование потребителей, представленное в таблице 1.

**Таблица 1.** – Категорирование потребителей для дифференциации тарифов по надежности электроснабжения

Наименование категории потребителей	Тяжесть последствий от наращения электроснабжения	Наличие/отсутствие резервного источника питания	Допустимое время отключения электроснабжения
Первая категория	Максимальная степень последствий – прекращение работы потребителей создает угрозу жизни людей, приводит к возникновению глубоких нарушений окружающей среды, повреждению уникального и дорогостоящего оборудования. Оценить ущерб в экономическом эквиваленте для таких потребителей практически невозможно.	Питание от трех независимых источников	Время автоматического перехода на электроснабжение от резервного источника питания (от доли секунды до нескольких десятков секунд)
Вторая категория	Степень последствий – высокая. В этом случае срывы электроснабжения приводят к значительным экономическим потерям вследствие повреждения сложного оборудования, массовой порче	Питание от двух независимых источников	Время автоматического перехода на электроснабжение от резервного источника питания (от 1 минуты до десятков минут)

	сырья, браку продукции и требуют больших средств и времени на возобновление производственного процесса, а также вызывают нарушение нормальной работы связанных с ним производств.		
Третья категория	Степень последствий – нормальная. В этом случае отказы потребителей вызывают экономические потери намного меньшего масштаба, чем при второй степени последствий.	Отсутствие технологического резерва	Время переключения на резервный источник питания оперативным персоналом потребителя или выездной бригадой электросетей (от 10 до 15 часов)
Четвертая категория	Степень последствий – незначительная, отказы питания потребителей незначительно увеличивают производственные потери. Последствия можно перекрыть без особых затрат труда и средств.		Не более 24 часов подряд, включая срок восстановления электроснабжения (максимум 72 часа в год)

Поддержание высокого уровня надежности электроснабжения требует определённых финансовых вложений, которые не приводят к увеличению продаж электроэнергии. Таким образом, чем сильнее в инвестиционном проекте представлена составляющая, отвечающая за надежность, тем меньше его коммерческая эффективность. Одно из средств обеспечения надежности – это мероприятия по резервированию мощностей, которые ежегодно включаются в инвестиционную программу сетевых предприятий, финансируемую за счет части тарифа. Затраты на резервирование в электрических сетях составляют от 30% их стоимости. Помимо сетевого и местного резервирования надежность обеспечивается за счет: автоматизации и релейной защиты, сокращения радиуса действия электрических сетей,

замены воздушных линий кабельными, повышения надежности отдельных элементов сетей, в том числе опор, проводов, изоляторов, различного линейного и подстанционного оборудования. Учет всех этих затрат должен вестись отдельной статьей расходов с разбивкой по категориям надежности. Таким образом, при разработке сетевой компанией инвестиционной программы на каждые 5 лет и соответствующим ее утверждением департаментом энергетики и тарифов следует отдельным блоком прописывать мероприятия, связанные с надежностью, с последующей ежегодной их корректировкой.

Составляющая надежности должна быть выделена в общем тарифе на электроэнергию, для чего необходимо организовать учет расходов и доходов, связанных с обеспечением определенного уровня надежности.

Предлагается при разработке системы дифференциации тарифов выделить так называемый базовый тариф на электроэнергию, который будет включать все затраты на передачу и распределение электроэнергии, а также надбавку за надежность, которая будет отражать часть необходимой валовой выручки, направляемой на обеспечение выбранного уровня надежности потребителей [2] (в части надежности распределения электроэнергии) согласно уравнения 1:

$$T_i = T_{\text{баз}} + \Delta T_i, \quad (1)$$

где  $T_i$  – тариф для потребителей  $i$ -ой категории надежности;

$T_{\text{баз}}$  – базовый тариф, включающий все затраты на передачу и распределение электроэнергии;

$\Delta T_i$  – надбавка за надежность  $i$ -ой категории потребителей (в части надежности распределения электроэнергии).

Расчет надбавки за надежность предлагается проводить по формуле 2:

$$\Delta T_i = \frac{Zn_i + P \max_i}{N_i \cdot P \max \text{ час}}, \quad (2)$$

где  $Zn_i$  – затраты на поддержание  $i$ -ого уровня надежности всех потребителей  $i$ -ой категории надежности в год

$P \max_i$  – максимальные денежные потери предприятий энергосистемы, связанные с отключением  $i$ -ой категории потребителей;

$N_i$  – количество потребителей  $i$ -ой категории надежности

$P_{\max \text{ час}}$  – максимальная заявленная мощность в час.

Максимальные денежные потери, связанных с отключением  $i$ -той группы потребителей вычисляются по формуле 3.

$$\Pi_{\max i} = t_{\max i} \cdot T_{\text{баз}} \cdot N_i \cdot P_{\max \text{ год}}, \quad (3)$$

где  $t_{\max i}$  – максимально допустимое количество часов отключений в год для  $i$ -той группы потребителей;

$P_{\max \text{ год}}$  – максимальная заявленная мощность в год.

При равной мощности тариф для потребителя четвертой категории надежности будет самым низким, а тариф для потребителя первой особой категории надежности – самым высоким.

Тарифное меню необходимо представить с разбивкой по уровням напряжения. Эта задача решается через показатель базового тарифа. Для каждого уровня напряжения необходимо вычислить свой базовый тариф, который в дальнейшем будет использоваться в расчете полной ставки тарифа.

В общем виде предлагаемая методика учета категории надежности в тарифе на электроэнергию выглядит следующим образом (раздельно для каждого уровня напряжения):

1. Осуществление раздельного учета расходов на поддержание требуемого уровня надежности по категориям надежности потребителей.

2. Определение количества потребителей каждой категории надежности.

3. Расчет суммарной мощности потребителей каждой категории надежности в соответствии со «Сводом правил по Сооружению промышленных предприятия» и «Сводом правил по проектированию и монтажу электроустановок жилых и общественных зданий» [4].

4. Расчет суммарной мощности потребителей (жилых домов, общественных, коммунальных учреждений и производственных потребителей) каждой категории надежности с учетом коэффициента одновременности согласно «Методическим указаниям по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения» [5] и «Указаниям по расчету электрических нагрузок в промышленных установках».

5. Расчет максимальных финансовых потерь, связанных с отключением каждой категории надежности потребителей.

6. Расчет надбавки за надежность для каждой категории потребителей согласно их уровню надежности электроснабжения.

7. Определение базового тарифа для каждой категории надежности, вычитая из текущего тарифа затраты на надежность, которые сейчас заложены в рамках перекрестного субсидирования.

8. Расчет нового тарифа для каждой категории надежности с учетом надбавки за надежность.

В конечном счете вопрос сводится к организации учета расходов и доходов, связанных с обеспечением определенного уровня надежности. Без этого невозможно ввести в действие систему дифференцированных по надежности тарифов, т.к. уровень издержек для каждой группы надежности будет экономически необоснованным. Этот вопрос требует детальной проработки, так как является существенно важным для справедливого возмещения затрат, понесенных энергосистемой на повышение и поддержание надежности.

Таким образом, в результате реализации на практике системы дифференцированных тарифов станет возможным избежание перекрестного субсидирования, когда все потребители, независимо от их уровня надежности платят за надежность системы в целом. Предполагается, что потребители третьей группы надежности, состоящей в основном из обычного населения, как самые незащищенные в правовом аспекте, должны избежать повышения тарифов в разрезе затрат на надежность, т.к. в действующие на сегодняшний день тарифы включена завышенная составляющая по надежности.

Общий эффект от введения системы дифференцированных тарифов должен достигаться в результате появления у сетевой компании экономического стимула для повышения и обеспечения надежности электроснабжения потребителей всех категорий. Это связано с тем, что появляется возможность сокращения величины возмещения ущерба от внезапных перерывов в поставках электроэнергии по сравнению с ожидаемыми суммами. Эффект у потребителей будет состоять в направленности дифференцированного тарифа именно на тех потребителей, которые в наибольшей степени заинтересованы в повышении надежности энергоснабжения.

#### Список литературы

1. Колибаба В. И. Особенности управления затратами распределительных электросетевых компаний в условиях RAB-регулирования / В. И. Колибаба, А. А. Овсянников, А. А. Филатов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 62, Проблемы надежности существующих и перспективных систем энергетики и методы решения / Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СА РАН, Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина (ИГЭУ); отв. ред. Н. И. Воропай, В. А. Савельев. — Решма, 2011. — С. 284-293..
2. Колибаба В. И., Мокрова К.С. Методика формирования дифференцированных сетевых тарифов на электроэнергию в зависимости от уровня надежности электроснабжения потребителя. В журнале "Вестник ИГЭУ", Иваново, 2017 г., Вып. 1, с. 69-76

3. Российская Федерация. СП 31-110-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

4. Российская Федерация. РД 34.20.178 Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения.

УДК 532.533

В.П. ЖУКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,

А.В. МИТРОФАНОВ, д.т.н., доц.,

В.Е. МИЗОНОВ, д.т.н., профессор

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина

153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34

E-mail: [zhukov-home@yandex.ru](mailto:zhukov-home@yandex.ru)<sup>1</sup>

## Моделирование распределения концентрации твердой фазы в кипящем слое

**Аннотация.** Целью работы является расчетно-экспериментальное исследование аксиальной неоднородности кипящего слоя.

**Ключевые слова:** кипящий слой, ячеечная модель, порозность.

V.P. Zhukov, doctor of engineering, professor,

A.V. MITROFANOV, doctor of engineering, assistant professor,

V.E. MIZONOV, doctor of engineering, professor,

Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## Simulation of solids distribution in fluidized bed

**Abstract.** The aim of the work is to research of axial solids distribution in the fluidized bed

**Key words:** fluidized bed, cell model, porosity.

При расчете аппаратов с кипящим слоем необходимо прогнозировать высоту расширившегося слоя, однако, количественных закономерностей, позволяющих это сделать с приемлемой точностью, в настоящее время не существует [1].

Ранее нами была предложена ячеечная модель, описывающая поведение ансамбля частиц в восходящем потоке газа с учётом стеснённости обтекания частиц в слое, проведены расчетные и экспериментальные исследования влияния скорости газа на степень расширения слоя [2]. Гидродинамической основой предложенной модели послужила двухфазная теория, а структурно модель базировалась на основе одномерной цепи Маркова [2]. Аппарат разбивался по высоте на ячейки, движение материала рассматривалось через малые конечные промежутки времени  $\Delta t$ , в течение которых частицы могли остаться в данной ячейке или переместиться в соседние. Текущее состояние процесса представлялось вектором-столбцом, состоящим из концентраций частиц в каждой ячейке, переходная матрица в каждом столбце содержала вероятности остаться в

данной ячейке и переместиться в соседние. Указанные вероятности были связаны с фактической скоростью обтекания частиц потоком газа, которая, в свою очередь, зависела от концентрации частиц в ячейке. Работа программы была организована в цикле с шагом по одной частице. На каждом шаге программа рассчитывала распределение частиц по высоте аппарата. Аксиальная координата, ниже которой сосредоточено 99% массы материала, была принята за расчетную высоту псевдооживленного слоя.

Экспериментальное исследование расширения слоя было выполнено на установке плоской формы. Масса загрузки аппарата изменялась от 200 до 700 (с шагом 100) сферических ( $d=6\text{мм}$ ) частиц, при этом расход оживающего агента изменялся для поддержания постоянной фиктивной скорости оживающего агента в аппарате.

Модель с удовлетворительной точностью (рис.1.) описывала относительное расширение псевдооживленного слоя при различном расходе оживающего агента и различных массах загрузки аппарата [2], однако в объеме расширившегося слоя расчетная концентрация материала оказывалась постоянной, что противоречит действительности.

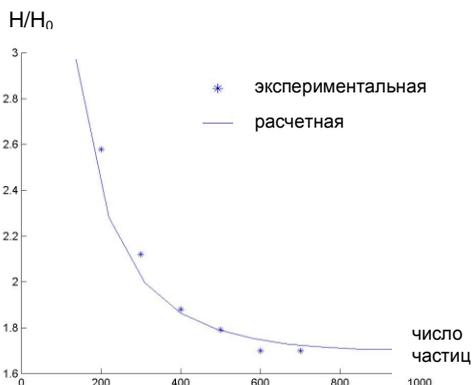


Рис. 1. Расчетная и экспериментальная относительная высота слоя при скорости оживающего агента 220 см/с.

Более адекватное описание распределения частиц внутри расчетного объема слоя было достигнуто за счет введения случайной симметричной составляющей движения частиц (диффузионной), которая описывалась безразмерным коэффициентом  $d=D\Delta t/\Delta x^2$  ( $D$  – коэффициент макроdiffузии). Коэффициент  $d$  задавал ненулевую вероятность перемещения частицы из данной ячейки при любой скорости обтекания.

В дальнейшем за счет величины  $d$  были разрешены вероятности перехода не только в соседнюю ячейку назад и вперед, но и в более отдаленные. При этом вероятность перехода в более отдаленные от наблюдаемой ячейки постепенно снижалась за счет распределения величины  $d$  по нормальному закону (с максимумом – для вероятностей переходов в соседние ячейки).

Параметр  $d$  является идентификационным параметром модели, с ним связаны параметры распределения: количество ячеек  $N$  (при заданной дисперсии), в которые существуют ненулевые вероятности перехода частиц из данной ячейки.

Так как модель без  $d$  адекватно описывает расширение слоя, то рассчитав при помощи нее высоту псевдооживленного слоя  $H$ , можно использовать эту высоту как критерий для подбора таких  $d$  и  $N$ , которые обеспечат более достоверное распределение концентраций частиц внутри слоя заданного объема. Решение способом перебора этой задачи, позволило получить осредненную расчетную кривую зависимости  $d$  от  $N/H$  (рис. 2.). Подобранные по кривым пары значений  $d$  и  $N/H$  позволяют получать различные профили концентраций твердой фазы в рамках заданного расширения. На рис. 3. показан пример распределений частиц по высоте слоя (точками показаны экспериментальные значения) при фиксированном  $N/H$  и при  $d$ , подобранных по верхним границам кривых и по осредненной кривой.

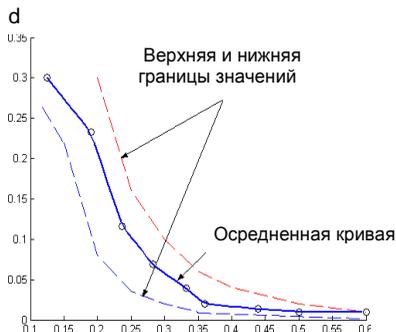


Рис. 2. Зависимости  $d$  от  $N/H$

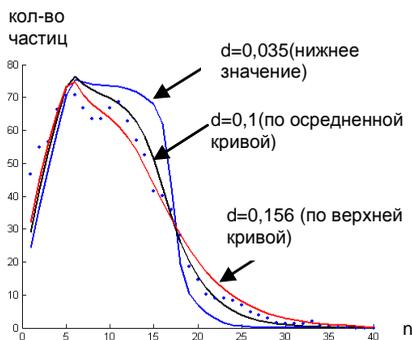


Рис. 3. Распределение частиц по высоте кипящего слоя при  $N/H=0,25(N=6)$ . Скорость оживающего агента  $w=170\text{см/с}$ ,  $n$ -высота слоя (высота ячейки 2 см).

Осредненная кривая дает, как правило, наиболее близкие к эксперименту значения. Анализ экспериментальных данных и численных экспериментов также показал, что соотношение  $N/H$  не превышало 0,5, таким образом, за один переход по времени частицы имеют ненулевую вероятность перехода не более, чем на 50% от высоты слоя при порозности 0,5..0,8.

### Литература

1. **Псевдоожигение/** Под ред. И.Ф. Дэвидсона, Д. Харрисона:Пер. с англ. М.: Химия, 1974. 728 с
2. **Огурцов, А.В.** Расчетно-экспериментальное исследование распределения твердых частиц в аппарате с двумерным псевдоожигенным слоем / А.В. Огурцов, А.В. Митрофанов, В.А. Огурцов, В.Е. Мизонов, К. Tannous // Изв. Вузов «Химия и химич. технология» – том.52 , вып.11 (2009), 131-134.

В.П. ЖУКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,  
А.В. МИТРОФАНОВ, д.т.н., доц.,  
В.Е. МИЗОНОВ, д.т.н., профессор

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: [zhukov-home@yandex.ru](mailto:zhukov-home@yandex.ru)

## Расчетно-экспериментальное исследование аппарата с кипящим слоем

**Аннотация.** Целью работы является расчетно-экспериментальное исследование работы аппарата с кипящим слоем.

**Ключевые слова:** кипящий слой, ячеечная модель, порозность.

V.P. Zhukov, doctor of engineering, professor,  
A.V. MITROFANOV, doctor of engineering, assistant professor,  
V.E. MIZONOV, doctor of engineering, professor,  
Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## Experimental-calculated study of fluidized bed apparatus

**Abstract.** The aim of the work is to study of the fluidized bed reactor

**Key words:** fluidized bed, cell model, porosity.

В настоящее время множество технологических процессов в различных отраслях промышленности реализуются в псевдоожигенном слое. Широкое внедрение метода псевдоожигения обуславливается рядом факторов: выравниванием температур и концентраций в объеме слоя, связанное с интенсивным перемешиванием твердой фазы; высокие значения коэффициентов эффективной теплопроводности и теплоотдачи от слоя к поверхностям теплообмена (и обратно); текучести; независимости гидравлического сопротивления слоя от фракционного состава и др. Однако разработка и широкое внедрение аппаратов с псевдоожигенным слоем задерживается все еще недостаточной изученностью гидродинамики и теплообмена в нем [1].

Так важным вопросом при конструировании аппаратов с псевдоожигенным слоем является определение необходимой скорости газа для поддержания

ансамбля частиц во взвешенном состоянии, а также распределение скорости газа и концентрации частиц по высоте слоя. Однако описание поля скоростей в аппаратах с псевдооживленным слоем даже относительно простой конструкции, исходя из полных уравнений гидродинамики, весьма проблематично, а измерение скоростей в различных точках связано с дорогостоящими и трудоемкими исследованиями и не всегда возможно [2]. В связи с этим целью настоящего исследования является расчетно-экспериментальное исследование распределения частиц материала по высоте цилиндроконического аппарата с псевдооживленным слоем.

Для построения ячеечной математической модели аппарат со взвешенным слоем рассматривается как совокупность из ячеек высотой  $\Delta x=20$  мм прямоугольной формы в цилиндрической части и в форме правильной усеченной пирамиды в конической части. Перетоки материала между ячейками описаны переходной матрицей для материала, элементы которой определяются фактической скоростью газа в ячейках и интенсивностью взаимодействий между частицами. Движение материала рассматривается через малые конечные промежутки времени  $\Delta t$ , в течение которых частицы могут переместиться не далее соседней ячейки. В аппарат подается газ со скоростью  $W$ . Крупность фракции исходного материала характеризуется ее скоростью витания  $V_{\text{вит.ч}}$  [3]. Текущее состояние процесса представлено вектором-столбцом  $SM$ , состоящим из масс материала в каждой ячейке, а его эволюция – матричным равенством

$$SM^{k+1} = C \cdot SM^k,$$

где  $k$  – номер перехода,  $C$  – матрица переходов размером  $n \times n$ , состоящая из вероятностей для материала в данной ячейке перейти назад, остаться в наблюдаемой ячейке или перейти вперед. Вероятности остаться в текущей ячейке составляют главную диагональ матрицы  $C$ , вероятности перехода назад и перехода вперед располагаются соответственно на диагоналях над и под главной. Описанные вероятности пропорциональны скорости движения фракции материала, которая рассчитывается как разность реальной скорости

потока в ячейке  $w_i$  и скорости витания  $V_{\text{вит.ч}}$ , а также интенсивностью взаимодействия между частицами, которые учитываются введением безразмерного дисперсионного коэффициента  $d = \Delta t / \Delta x^2$  ( $D$  – коэффициент макродиффузии).

В реальных взвесенесущих потоках сечение аппарата загромождено большим количеством частиц. Увеличение объемной концентрации твердых частиц приводит к росту фактической скорости обтекания, что учтено введением максимальной массы материала  $SM_{\text{max}}$ , которая может содержаться в ячейке, и коэффициентом ее порозности  $\varepsilon$ . Тогда фактическая скорость газа в  $i$ -ой ячейке может быть рассчитана следующим образом:

$$w_i = \frac{W}{1 - \varepsilon (SM_i / SM_{\text{max}})}$$

Здесь  $SM_i$  – расчетное содержание материала в данной ячейке,  $SM_{\text{max}}$  – максимально возможная масса материала в ячейке данного объема [3]. Начальное заполнение вектора  $SM$  для проводилось следующим образом: сначала рассчитывались объемы всех ячеек, затем определяли объем слоя в аппарате. После этого элементам вектора  $SM$ , начиная с  $i=1$ , последовательно присваивались соответствующие значения объемов ячеек, которые вычитались из объема, занимаемого всем слоем в насыпном состоянии. Когда при

некотором  $i=j$  эта разность становится отрицательной, элементу  $SM(j)$  присваивается значение оставшегося объема материала до вычитания (при  $i=j-1$ ), а элементам с номерами  $i>j$  присваиваются нулевые значения. Далее по известным объемам материала в каждой ячейке вычислялась соответствующая масса материала в ячейках  $SM_{max}$  [3].

Экспериментальная установка представляла собой аппарат цилиндрикоконической формы, одна из стенок которого была выполнена из прозрачного стекла, а другая служила непрозрачным фоном. Расстояние между стенками аппарата было 7 мм, ширина аппарата в цилиндрической части – 166 мм, внизу конической части – 120 мм, высота аппарата – 80 мм. Таким образом, частицы имели возможность перемещаться только вправо, влево вверх или вниз. Аппарат был условно разделён по высоте на 40 ячеек по 20 мм каждая. Вентилятором 1 обеспечивалось движение воздуха через аппарат. Скорость движения воздуха в пустом аппарате измерялась анемометром 2, по показаниям которого был сделан расчёт потока газа через аппарат. На газораспределительную решётку укладывались одинаковые сферические частицы диаметром 6 мм. После включения вентилятора 1, и перехода слоя в установившееся состояние, было сделано 20 фотографий псевдооживленного слоя. Затем по фотографиям были определено количество частиц в каждой ячейке аппарата.

Экспериментальное и расчетное распределения масс материала по высоте слоя приведено на рисунке 1.

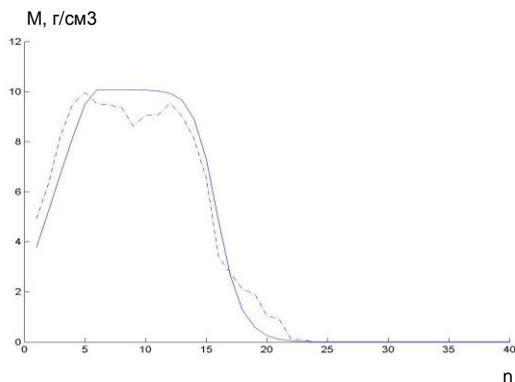


Рис. 1. Экспериментальное (пунктирная линия) и расчетное (сплошная линия) распределения масс материала по высоте слоя

Таким образом, предложенная нелинейная математическая модель [3] качественно-непротиворечиво описывает экспериментальные данные и позволяет получить распределения массы материала и скоростей частиц по высоте аппарата в установившемся режиме. С помощью модели может быть исследован и переходный режим, а также уточнено значение скорости начала псевдооживления и критической скорости уноса материала из аппарата.

## Литература

1. **Забродский С.С.** Гидродинамика и теплообмен в псевдоожигенном (кипящем) слое. М. – Л., Госэнергоиздат, 1963.
2. **Коган В.Б.** // Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Учеб. пособие для студентов хим.-технологич. спец. вузов./ Л., «Химия», 1977. 591 с
3. **Огурцов А.В.**, Митрофанов А.В., Огурцов В.А., Мизонов В.Е. Ячеечная математическая модель распределения твёрдых частиц в псевдоожигенном слое. Изв. Вузов «Химия и химич. технология», 2007, том.50 , вып.3, с.100-103.

Кукукина И.Г.

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина», Иваново, Россия*

### **Аннотация**

В статье дана методика оценки нематериального актива для проектной экономики. Решение задач цифровых технологий позволит повысить энергетическую эффективность российской экономики.

**Ключевые слова:** проектная экономика, энергоэффективность, энергосбережение, инновации, нематериальный АКТИВ

Kukukina I.G.

## DIGITAL TECHNOLOGIES IN ENERGY SAVING PROCESSES

### **Abstract**

In the article methodology of the economic evaluation intangible assets for projecting economy is presented. The solution of tasks digital technologies may allow increasing the energy efficiency of the Russian economy

**Keywords** projecting economy, energy efficiency, energy saving, innovation, intangible assets

Вопросы повышения энергетической эффективности благодаря цифровой экономике становятся все более актуальными на национальном уровне [1, 2, 3].

Цифровая экономика инфраструктурных отраслей проявляет себя на трех уровнях:

- на рынках и в отраслях экономики по сферам деятельности осуществляются взаимодействия хозяйствующих субъектов в лице поставщиков и потребителей;

- платформы и технологии формируют компетенции для развития этих рынков и отраслей экономики;

- инновационная среда создает условия для развития платформ и технологий, более эффективного взаимодействия хозяйствующих субъектов и отраслей экономики, включая нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность [4, 6].

В данном исследовании объекты цифровой экономики рассматриваются в качестве нематериальных активов (НМА) на платформе проектных решений. Внедрение НМА сопровождается таким техническим эффектом, как типизация и унификация применяемого электрооборудования. При этом появляется возможность сократить сроки проектирования объекта (подстанции), сократить сроки строительства основного объекта и ускорить ввод в эксплуатацию потребителей электроэнергии для вновь вводимых объектов.

Основой формирования экономического эффекта от внедрения НМА служит дополнительная прибыль (чистый денежный приток), получаемая за счет сокращения срока ввода в действие потребителей электроэнергии (бизнес-единиц), подключаемых к подстанциям.

Методика расчета экономического эффекта включает следующий порядок расчетов.

1. Дополнительная прибыль от сокращения ввода в эксплуатацию вновь вводимых потребителей электроэнергии, дисконтированная к году внедрения НМА

$$NP_{1i} = S \cdot (1 - d) \cdot (1 - T) \cdot \frac{1}{(1 + D)^t} \cdot \Delta t$$

Где:  $S$  – среднедневная выручка от эксплуатации потребителя, млн руб. Определяется Заказчиком для каждой бизнес-единицы согласно инвестиционной программе.

$d$  – доля затрат в выручке, о. е.;

$T$  – ставка налога на прибыль, %;

$D$  – ставка дисконтирования, приведенная к периоду срока сокращения ввода объекта в эксплуатацию;

$t$  – год ввода объекта в эксплуатацию;

$\Delta t$  – срок сокращения ввода объекта в эксплуатацию, дней.

Если за период действия НМА введено  $n_1$  подстанций по  $B_1$  бизнес-единицам, рассчитывается общая дополнительная прибыль от скорейшего ввода в эксплуатацию вновь вводимых бизнес-единиц:

$$NP_1 = \sum_{i=1}^{B_1} NP_{1i} = \sum_{i=1}^{B_1} S_i \cdot (1 - d_i) \cdot (1 - T) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau_i - 1}} \cdot \Delta t i$$

2. Дополнительная прибыль от снижения тарифов для потребителей, ранее питаемых от сетей сторонних организаций, дисконтированная к году внедрения НМА

$$NP_{2i} = W \cdot (C_2 - C_1) \cdot (1 - T) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau}} \cdot \Delta t$$

Где:  $W$  – среднее потребление электроэнергии, кВт·ч. Определяется Заказчиком для каждой бизнес-единицы.

$C_2$  – стоимость электроэнергии, потребляемой от сетей сторонней организации, руб./кВт·ч;

$C_1$  – стоимость электроэнергии, потребляемой от сетей ПАО, руб./кВт·ч;

$T$  – ставка налога на прибыль, %;

$D$  – ставка дисконтирования, приведенная к периоду срока сокращения ввода объекта в эксплуатацию;

$\tau$  – год ввода объекта в эксплуатацию;

$\Delta t$  – срок ускорения ввода объекта в эксплуатацию, дней.

Если за период действия НМА введено  $n_2$  подстанций по  $B_2$  бизнес-единицам, получим общую сумму дополнительной прибыли от снижения тарифов для потребителей, перешедших на питание от своей сети

$$NP_2 = \sum_{i=1}^{B_2} NP_{2i} = \sum_{i=1}^{B_2} W_i \cdot (C_{2i} - C_{1i}) \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau_i}} \cdot \Delta t i$$

3. Дополнительная прибыль от замены автономных источников питания на питание от сетей ПАО, дисконтированная к году внедрения НМА

$$NP_{3i} = W \cdot (Z - C_1) \cdot (1 - T) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau}} \cdot \Delta t$$

Где:  $W$  – среднее потребление электроэнергии потребителем, кВт·ч. Определяется Заказчиком для каждого объекта;

$Z$  – затраты на производство 1 кВт·ч электроэнергии автономным источником питания;

$C_1$  – стоимость электроэнергии, потребляемой от сетей ПАО, руб./кВт·ч;

$T$  – ставка налога на прибыль, %;

$D$  – ставка дисконтирования, приведенная к периоду срока сокращения ввода объекта в эксплуатацию;

$\tau$  – год ввода объекта в эксплуатацию;

$\Delta t$  – срок сокращения ввода объекта в эксплуатацию, дней.

Если за период действия НМА введено  $n_3$  подстанций по  $B_3$  бизнес-единицам, имеем общую дополнительную прибыль от снижения тарифов для потребителей, ранее питаемых от сетей сторонних организаций

$$NP_3 = \sum_{i=1}^{B_3} NP_{3i} = \sum_{i=1}^{B_3} W_i \cdot (Z_i - C_i) \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau_i}} \cdot \Delta t_i$$

4. Дополнительная прибыль от высвобождения автономных источников питания на другие цели, дисконтированная к году внедрения НМА

$$NP_{4i} = \text{Пр} \cdot (1 - T) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau}} \cdot \Delta t$$

Где: Пр – средневзвешенная прибыль новой бизнес-единицы от эксплуатации автономного источника питания, используемого ПАО для других целей;

$T$  – ставка налога на прибыль, %;

$D$  – ставка дисконтирования, приведенная к периоду срока сокращения ввода объекта в эксплуатацию;

$\tau$  – год ввода объекта в эксплуатацию;

$\Delta t$  – срок ускорения ввода объекта в эксплуатацию, дней.

Если за период действия НМА высвобождено и направлено на другие цели  $n_4$  автономных источников питания по  $B_4$  бизнес-единицам, имеем общую дополнительную прибыль от эксплуатации подключенных автономных источников питания

$$NP_4 = \sum_{i=1}^{B_4} NP_{4i} = \sum_{i=1}^{B_4} \text{Пр}_i \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1 + D)^{\tau_i}} \cdot \Delta t_i$$

5. Прочие выгоды (сокращение расходов на обслуживание подстанции, снижение экологического ущерба окружающей среде и др., выявленные Заказчиком). Обозначим дополнительную прибыль от неучтенных выгод при создании и внедрении НМА как  $NP_5$ .

6. Общий экономический эффект (чистая текущая стоимость) от создания и внедрения НМА или чистый денежный приток (разность экономических эффектов и инвестиций на создание и внедрение НМА)

$$NPV = NP_1 + NP_2 + NP_3 + NP_4 + NP_5 - I_{NMA} \quad \text{или}$$

$$NPV = \sum_{i=1}^{B_1} S_i \cdot (1 - d_i) \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1+D)^{T_i}} \cdot \Delta t i + \sum_{i=1}^{B_2} W_i \cdot (C_{2i} - C_{1i}) \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1+D)^{T_i}} \cdot \Delta t i + \sum_{i=1}^{B_3} W_i \cdot (Z_i - C_{1i}) \cdot (1 - T_i) \cdot \frac{1}{(1+D)^{T_i}} \cdot \Delta t i + \sum_{i=1}^{B_4} Pp_i \cdot \frac{1}{(1+D)^{T_i}} \cdot (1 - T_i) \cdot \Delta t i + NP_5 - I_{NMA}$$

### Литература

1. Анисимова Т.Ю. Методика проведения энергоэкономического анализа деятельности предприятия в системе энергетического менеджмента/ Т.Ю. Анисимова// Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – №2(353). – С. 37-44.
2. Ермолаев К.А. Влияние процессов энергосбережения и повышения энергоэффективности на инновационное развитие национальных экономик/ К.А. Ермолаев // Экономический анализ: теория и практика. – 2017. Том 16. – №1(460). – С. 82-92.
3. Жигалов В.М. Современная система стратегического планирования энергосбережения и повышения энергоэффективности в России в контексте новой климатической политики / В.М. Жигалов, Н.В. Пахомова // Электронный журнал «Проблемы современной экономики». – 2015. – № 3 (55). – С. 62-72.
4. Княгинин В.Н. Экспертно-аналитический доклад «Цифровой переход в электроэнергетике России» / В.Н. Княгинин / Центр стратегических разработок, 2017. – 47 с.
5. Тыршу М.С. Энергоаудит как инструмент энергосбережения / М.С. Тыршу // Электронный журнал «Проблемы региональной энергетики». – 2013. – № 3. – С 73-79.
6. Allcott H. Is There an Energy Efficiency Gap? / H. Allcott, M. Greenstone // Journal of Economic Perspectives. – 2012. – Vol. 26. – № 1 (Winter). – pp. 3-28.

**УДК 621.929**

Е.А. Шуина, д.т.н., проф.

## **ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ**

Ивановский государственный энергетический университет, Россия

Аннотация. Процесс смешивания сыпучих материалов представлен как наложение мелкомасштабного перемешивания, когда за один переход ключевой компонент переходит только в ближайшую окрестность малого объема, и

крупномасштабного, когда значительные области материала перемещаются за один переход. Показана роль структуры и параметров крупномасштабного перемешивания в формировании качества смеси для материалов не склонных и склонных к сегрегации.

Смесители дисперсных материалов широко распространены в химической, строительной и других отраслях промышленности. Они призваны обеспечить максимально возможное равномерное распределение компонентов смеси в некотором объеме, если первоначально эти компоненты были полностью разделены. При этом немаловажную роль играет и скорость достижения требуемого качества смеси, поскольку именно она определяет производительность смесителя. Проникновение частиц первоначально локализованного компонента в другие зоны рабочего объема смесителя в общем случае происходит в результате наложения двух процессов. Во-первых, это мелкомасштабное перемешивание, когда в течение малого по сравнению с общей длительностью процесса промежутка времени частицы могут переходить только в ближайшую окрестность своего текущего положения. Этот процесс носит квази-диффузионный характер и именно в нем проявляется склонность частиц к сегрегации, если свойства перемешиваемых компонентов существенно отличаются. Во-вторых, это крупномасштабное перемешивание, когда в течение короткого промежутка времени значительные части материала в рабочем объеме меняются местами, например, благодаря действию перемешивающих лопастей или поворотам корпуса смесителя. Периодичность и пространственная структура этой части процесса могут контролироваться частотой вращения и конструктивными особенностями рабочих органов смесителя. Выявление влияния этих факторов на скорость перемешивания и качество смеси и являются предметом настоящей статьи.

Для математического описания процесса использован подход, базирующийся на теории цепей Маркова. Рассмотрим одномерную модель этого процесса. Выделим конечное число  $m$  дискретных состояний - положений ключевого компонента. Тогда его распределение по рабочему объему может быть описано вектором-столбцом размером  $m \times 1$   $\mathbf{S} = \{S_j\}$ , где  $S_j$  – относительное содержание ключевого компонента в  $j$ -ом состоянии (ячейке). Будем рассматривать процесс через дискретные малые промежутки времени  $\Delta t$ , в течение которых мелкомасштабное смешивание допускает переход частиц только в соседние состояния, но не далее. Это ограничение может также рассматриваться как определение мелкомасштабного перемешивания. Тогда текущее время процесса может быть описано как  $t_k = (k-1)\Delta t$ , где  $k$  – номер временного перехода, или дискретный аналог текущего времени. В течение перехода вектор состояния  $\mathbf{S}^k$  меняется и переходит в  $\mathbf{S}^{k+1}$ . Его преобразование может быть описано рекуррентным матричным равенством

$$\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}^k \mathbf{S}^k, \quad (1)$$

где  $\mathbf{P}^k$  – матрица переходных вероятностей, которая зависит от характера перехода и может меняться от одного перехода к другому.

Для переходов, соответствующих мелкомасштабному перемешиванию, эта матрица имеет вид

$$\mathbf{P}_D = \begin{bmatrix} 1-d-v & d & 0 & 0 \\ d+v & 1-2d-v & d & 0 \\ 0 & d+v & 1-2d-v & d \\ 0 & 0 & d+v & 1-d \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $d=D\Delta t/\Delta x^2$ ,  $v=V\Delta t/\Delta x$ ,  $D$  – дисперсионный коэффициент,  $V$  – средняя скорость сегрегации частиц ключевого компонента в смеси (матрица (2) записана для сегрегации вниз),  $\Delta x$  – длина ячейки.

Матрица переходных вероятностей для крупномасштабного перемешивания зависит от структуры крупномасштабных переходов. На рис.1 показаны два их примера, когда крупномасштабный переход охватывает половину рабочего объема смесителя: параллельный перенос (а) и симметричное отражение (б). При этом считается, что в переход вовлечена доля  $\alpha$  материала.

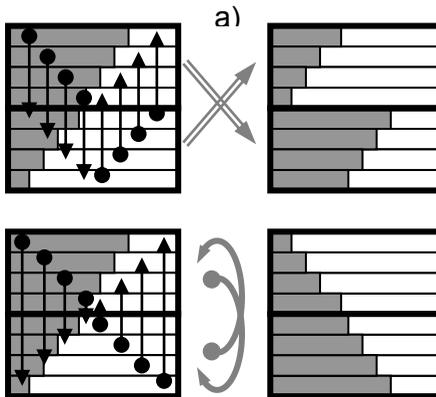


Рис.1. Примеры структуры крупномасштабных переходов: а – параллельный перенос, б – симметричное отражение.

Матрица переходных вероятностей для параллельного переноса имеет вид

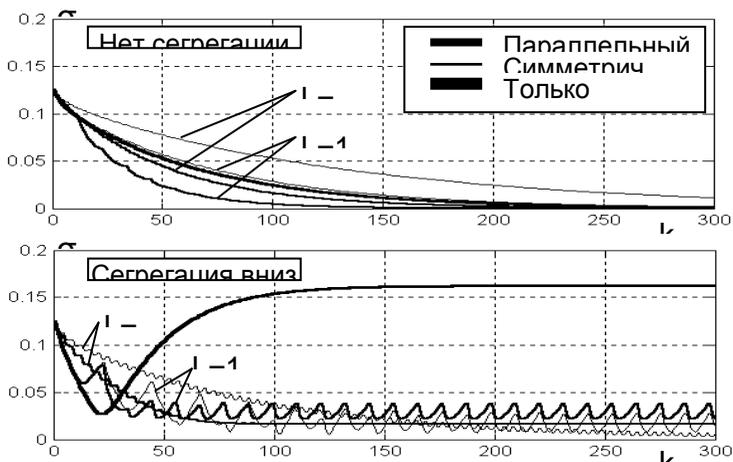


Рис.2. Влияние периодичности и структуры крупномасштабного перемешивания на кинетику перемешивания и качество смеси для материалов не склонных и склонных к сегрегации.

$$\mathbf{P}_B = \begin{bmatrix} 1-\alpha & 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 1-\alpha & 0 & \alpha \\ \alpha & 0 & 1-\alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & 1-\alpha \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – доля захватываемого при переходе материала. Формулы (2) и (3) для краткости записаны для цепи из 4-х ячеек и демонстрируют структуру матриц, которая сохраняется при произвольном числе ячеек. Для симметричного отражения матрица строится по такому же принципу.

Считая, что мелкомасштабное перемешивание с матрицей  $\mathbf{P}_D$  происходит на каждом переходе, а крупномасштабное с матрицей  $\mathbf{P}_B$  – через  $L$  переходов, эволюцию состояния смеси можно описать матричным равенством

$$\mathbf{S}^{k+i} = \mathbf{P}_D \mathbf{S}^{k+i-1}, i=1,2,\dots,L, \quad \mathbf{S}^{k+L+1} = \mathbf{P}_B \mathbf{S}^{k+L}, \quad (4)$$

где  $i$  – номер текущего мелкомасштабного перехода.

Текущее состояние качества смеси может быть оценено стандартным среднеквадратичным отклонением от равномерного распределения

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \left( \sum_{j=1}^m \left( S_j^k - \frac{1}{m} \right)^2 \right)}. \quad (5)$$

На рис.2 показаны некоторые результаты моделирования процесса, в котором ключевой компонент в начале занимает верхнюю половину рабочего объема. При отсутствии сегрегации параллельный перенос улучшает, а симметричное отражение ухудшает скорость перемешивания, хотя во всех случаях асимптотическое состояние распределения ключевого компонента равномерное. С увеличением периода  $L$  крупномасштабных переходов скорость перемешивания при параллельном переносе увеличивается, однако расчеты показывают, что при  $L > 10$  это увеличение практически прекращается и скорость перемешивания стабилизируется. Введение крупномасштабного перемешивания в виде параллельного переноса, качественно соответствующего действию перемешивающих лопастей, дает значительные выигрыш в скорости перемешивания не сегрегирующих материалов по сравнению с его отсутствием.

Ситуация резко меняется, если ключевой компонент склонен к сегрегации, например, вниз. Полное отсутствие крупномасштабного перемешивания быстро приводит к достижению удовлетворительного качества смеси, после чего оно также быстро ухудшается. Введение крупномасштабного перемешивания обоих видов замедляет скорость перемешивания, но асимптотически приводит к пульсирующему качеству смеси с амплитудой, убывающей при уменьшении периода крупномасштабных переходов. Наилучшее качество смеси достигается при симметричных отражениях с минимальной периодичностью, но скорость смешения в этом случае наименьшая. В частности, качество смеси начинает превосходить таковое для параллельных переносов только после 170 переходов. Тем не менее, симметричное отражение имеет очевидные преимущества для смешивания склонных к сегрегации материалов, что объясняет высокую эффективность использования для этих целей статических поворотных смесителей, где реализуется именно этот вид крупномасштабных переходов.

Данные рис.2 получены при  $\alpha=0,5$ , которое является оптимальным для материалов, не склонных к сегрегации. Расчеты показали, что при сегрегации оптимальное значение  $\alpha$  увеличивается и с ростом сегрегационной скорости  $V$  стремится к единице.

Таким образом, предложенная математическая модель позволяет оценить влияние всех параметров крупномасштабного перемешивания и выбрать наиболее подходящие параметры для смешивания конкретных материалов.

УДК 004.31

С.В. Косяков, д.т.н.  
А.М. Садыков, к.т.н.  
О.В. Фомина, инженер  
А.Б. Гадалов, инженер  
В.А. Нечаев, инженер

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
*E-mail: ksv@ispu.ru*

## **Разработка программного обеспечения для управления режимами работы систем централизованного теплоснабжения**

**Аннотация:** В работе приведены результаты разработки подхода к созданию программного обеспечения информационных систем, используемых для управления режимами работы систем централизованного теплоснабжения систем централизованного теплоснабжения.

**Ключевые слова:** Разработка программного обеспечения, системы теплоснабжения, управление режимом работы.

S.V. Kosyakov, doctor of engineering sciences  
A.M. Sadykov, candidate of engineering science  
O.V. Fomina, engineer  
A.B. Gadlov, engineer  
B.A. Nechaev, engineer

Ivanovo State Power Engineering University  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## **The software development to operating modes control of district heating systems**

**Abstract:** the paper presents the results of the development of an approach to the creation of software information systems used to control the modes of operation of district heating systems.

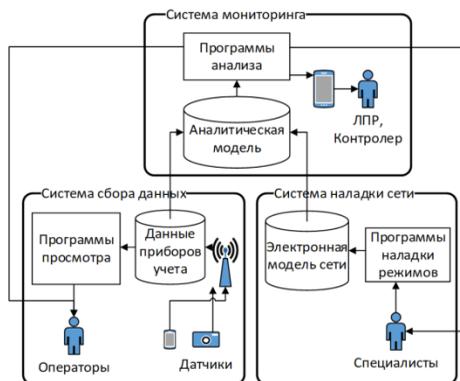
**Keywords:** Software Development, district heating systems, operation mode control.

Проблема низкой эффективности работы систем централизованного теплоснабжения в населенных пунктах в настоящее время является одной из наиболее острых в сфере развития ЖКХ. Анализ ситуации в этой сфере деятельности показывает, что в состав причин возникновения указанной проблемы входит низкий уровень интеграции и автоматизации процессов управления режимами работы системы в целом. Управление осуществляется отдельно на источниках, где регулируется отпуск теплоносителя, и у потребителей с помощью автономной автоматики регулирования потребления тепла. Кроме того, сетевое оборудование часто имеет не правильные настройки. В результате система работает в «разрегулированном» режиме. Очевидно, что для устранения таких режимов работы необходимо организовать централизованное управление на основе единой информационной системы (ИС), которая обеспечит возможность принятия управленческих решений на основе общих для всей системы критериев и достоверной информации о работе всех элементов системы. Авторами предложен и реализован подход к разработке такой ИС, в котором используются облачные технологии, компонентные методы, адаптивные интерфейсы и ряд других методов разработки ПО.

В процессе анализа требований были выявлены следующие основные функции, которые должны быть реализованы в информационной системе управления режимом работы системы теплоснабжения:

1. Ввод и хранение данных о структуре системы и характеристиках ее элементов с представлением на карте территории;
2. Расчет «нормативных» режимов работы системы;
3. Оперативный сбор данных реальных характеристиках режима работы системы (мониторинг режима);
4. Сопоставление данных «нормативного» и реального режима работы системы и выработка рекомендаций по установке оптимального для сложившихся условий режима.

Функция 1 реализуется средствами геоинформационных систем (ГИС). Для функций 2 и 3 имеется множество готовых специализированных программных решений, которые конкурируют на рынке ПО и обычно применяются отдельно друг от друга. С учетом этого фактора задача разработки ПО для информационной системы была сведена к задаче интеграции готовых компонентов, реализующих функции 2 и 3 под управлением единой ГИС и разработке компонентов, реализующих функцию 4. Структура разработанной ИС приведена на рис.1.



**Рис. 1. Структура ИС мониторинга системы теплоснабжения**

Основное назначение ПО ИС мониторинга заключается в создании аналитической модели системы теплоснабжения, в которой для каждого элемента сети выявляются и сопоставляются данные электронной модели и данные приборов учета. На основе сопоставления этих данных в ИС решаются следующие задачи:

1. Расчет реальных характеристик объектов тепловой сети, которые должны использоваться для наладочных расчетов сети («калибровка» электронных моделей).

2. Выявление отклонений реального режима работы тепловой сети от оптимального режима, рассчитанного с помощью электронной модели.

3. Формирование информационных сообщений пользователям и рекомендаций по приведению режима работы системы к оптимальному виду.

Облачная архитектура ИС является наиболее естественным решением при создании подобных систем сбора данных. Электронные модели и данные из системы сбора данных загружаются в общую аналитическую модель в облачном хранилище. Результаты обработки представляются пользователям через интерфейс, работающий в Интернет-браузерах. Интерфейс разработан на базе технологии React (<https://reactjs.org/>) [1]. Такой подход позволяет устанавливать ПО на серверах любой организации, которая заинтересована в решении проблемы повышения эффективности работы тепловой сети, независимо от мест размещения существующих ИС расчета и сбора данных. Методика применения разработанной ИС приведена в [2].

Применение подхода позволило в короткое время и с минимальными затратами создать и внедрить в опытную эксплуатацию новый программный продукт, не имеющий аналогов на рынке ПО. Результаты проведенных исследований показали, что разработанные

подход и программные средства позволяют эффективно решать задачи управления системами городского теплоснабжения, создают новые возможности для экономии энергоресурсов.

### Литература

3. Krill, Paul React: Making faster, smoother UIs for data-driven Web apps. InfoWorld (May 15, 2014). - [<https://www.infoworld.com/article/2608181/>]

4. Косяков С.В., Садыков А.М., Сенников В.В., Смирнов В.В. Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения на основе применения информационной системы мониторинга тепловых сетей // Вестник ИГЭУ. – 2018. – Вып. 2. – С. 58-66.

УДК 502.34

Е.В. ЗАЙЦЕВА, к.т.н., доцент

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская 34  
E-mail: [yekoz@mail.ru](mailto:yekoz@mail.ru)

## Система экологического аудита на предприятиях

**Аннотация:** рассмотрены вопросы экологического аудита, значение экологического аудита для предприятий, проблемы экологического менеджмента на предприятии.

**Ключевые слова:** экологический аудит предприятий, виды и формы экологического аудита, внешний и внутренний аудит, объекты аудита.

E.V. Zaytseva, Candidate of Engineering, docent  
Ivanovo State Power Engineering University 153003 Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34

## Environmental audit system at the enterprise

**Abstract:** the issues of environmental audit, the importance of environmental audit for enterprises, the problems of environmental management at the enterprise are considered.

**Key words:** environmental audit of enterprises, types and forms of environmental audit, external and internal audit, audit objects.

Согласно ст. 1 Федерального закона от 10 января 2002 года №7-ФЗ "Об охране окружающей среды", экологический аудит – это независимая, комплексная, документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды, требований международных стандартов и подготовка рекомендаций по улучшению такой деятельности [1].

Процедура проведения и содержание экологического аудита во многом похожа на оценку воздействия на окружающую среду в части

воздействий и самих процессах исследования. Экологический аудит так же имеет черты экологической экспертизы в части проверки документации и соответствия деятельности законодательству в области экологической безопасности.

Объектами экологического аудита могут быть как деятельность предприятия, так и его отчетность; экологическая программа организации; техническая и технологическая документация; отчетность о природоохранной деятельности; проектная документация на строительство, реконструкцию, расширение, консервацию и ликвидацию производственного объекта; технологические процессы; экологические риски и многое другое.

Существуют следующие формы экологического аудита [2]:

1. Инициативный экологический аудит – проводится по инициативе самих предприятий. Экологический аудит, будучи частью внутренних процессов управления предприятием носит добровольный характер (инициативный аудит).

2. Обязательный экологический аудит – проводится по сторонней инициативе: по решению суда, арбитража, органов государственного экологического контроля и экспертизы, правоохранительных и природоохранных органов.

Различают также внешний и внутренний экологический аудит:

Внешний экологический аудит проводится с целью получения объективной оценки соответствия деятельности хозяйствующего субъекта, требованиям природоохранных законодательных актов, а также получения рекомендаций, направленных на совершенствование природоохранной деятельности предприятия и повышение ее эффективности.

Внешний экологический аудит проводится экономическим субъектом аудиторской деятельности (аудитором) для поддержания объективности и независимости аудиторской проверки.

Внутренний экологический аудит – это независимая деятельность штатного сотрудника (группы штатных сотрудников) предприятия по проверке и оценке работы хозяйствующего субъекта в интересах руководства предприятия [3]. Основная задача внутреннего аудита – мониторинг корпоративных расходов и разработка мероприятий по их снижению.

Следует отметить, что экологический аудит проводится поэтапно:

1. Проверка первичной документации, в которой регистрируются показатели природоохранной деятельности.

2. Сбор данных, включая собеседования с работниками предприятия.

3. Производится визуальное обследование объекта (проверяется состояние технических средств, зданий, сооружений и пр.).

4. Инструментальный анализ параметров и характеристик окружающей среды, а также факторов негативного воздействия.

5. Разработка рекомендаций, направленных на совершенствование природоохранной деятельности предприятия.

6. Формирование аудиторского заключения.

Обычно, продолжительность проведения визуального обследования объекта составляет 2-3 дня, а подготовка отчета с оценкой имеющейся документации и рекомендациями - от 1 недели.

Результаты аудиторской деятельности оформляются в экологическом аудиторском заключении, содержащем сведения о соответствии отчетности и деятельности предприятия действующему экологическому законодательству и рекомендации по устранению обнаруженных недостатков.

Таким образом, экологический аудит рассматривается как элемент экологического менеджмента и организационно-управленческого механизма обеспечения национальной безопасности в экологической сфере, как инструмент гарантии экологических прав граждан на техногенно безопасную и экологически чистую окружающую среду.

#### Литература

1. **Кудрявцева О. В.** и др. Особенности проведения экологического аудита на предприятиях в современных условиях. М, 2016
2. **Пункевич, Б. С.** Экологический аудит. Правовая и нормативная основа // Стандарты и качество. – 2005. – № 4. – С. 36-40.
3. **Нецветаев А.Г.** Экологическое право. М., 2006

УДК 502.34

Н.Н. ЯРУНИНА, к.т.н., доцент

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

## Некоторые аспекты взаимодействия ТЭС и окружающей среды

**Аннотация.** В работе показана важность и актуальность проблемы очистки дымовых газов на ТЭС. Приведена зависимость валового выброса золы от КПД золоуловителя и КПД энергоблока. Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков различных способов фильтрации дымовых газов тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** экологические проблемы ТЭС, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снижение выбросов золовых частиц, электрофильтр.

N.N. YARUNINA, candidate of technical sciences, associate professor  
Ivanovo State Power Engineering University  
153003, Ivanovo, Rabfakovskayast., 34  
E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

## Some aspects of the interaction between TPP and the environment.

**Annotation.** The paper shows the importance and relevance of the problem of flue gas purification at thermal power plants. The dependence of the gross ash emission on the efficiency of the ash collector and the efficiency of the power unit is given. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of different methods of filtration of flue gases of thermal power plants.

**Keywords:** environmental problems of thermal power plants, emissions of pollutants into the atmosphere, reducing emissions of ash particles, electrofilter.

К экологическим проблемам тепловых электрических станций, использующих для выработки электрической и тепловой энергии ископаемое топливо, относятся выбросы оксидов азота, двуокиси серы, твердых частиц, а также выбросы углекислого газа в атмосферу, сбросы загрязняющих веществ в водоемы, наличие большого количества отходов золошлаковых материалов и низкий уровень их полезного использования.

Доля ТЭК в воздействии на окружающую среду России

Факторы	Отрасли ТЭК, %	Из них электротепло-энергетика, %
Парниковые газы	36,0	33,5
Токсичные газы и зола	44,0	28,0
Отчуждение земель	10,5	9,4
Забор свежей воды	25,5	24,5
Сброс сточных вод	36,0	33,5

Экологические ограничения при исследовании энергоблоков ТЭС – один из приоритетных аспектов в современных условиях природопользования. Особенно остро экологические проблемы стоят в регионах с высокой удельной техногенной нагрузкой на среду обитания, главным образом в крупных промышленных центрах, регионах, добывающих и перерабатывающих ископаемые ресурсы и территориях, в которых сосредоточены значительные энергетические мощности.

Тепловые электростанции по объему и массе сбросов не являются предприятиями, наиболее загрязняющими водоемы, однако при отсутствии надлежащих мер сбросы ТЭС в водные бассейны также могут привести к неблагоприятным последствиям. Для улучшения использования водных ресурсов необходимо совершенствовать технологические процессы производства электроэнергии и тепла, технологию очистки сточных вод, максимально использовать применение оборотного и повторного использования воды в технологических процессах.

Основным направлением работ в области охраны воздушной среды при работе ТЭС является уменьшение выбросов токсичных веществ в

атмосферу. Для этого дополнительно к устанавливаемому газоочистному оборудованию должны разрабатываться и применяться экологически чистые режимы сжигания топлива. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты по снижению выбросов золовых частиц, степень улавливания которых на ТЭС достигает 99,6 %.

Так, чтобы обеспечить снижение валового выброса золы на  $\approx 200 \dots 300$  т/год для блока мощностью 200 МВт, работающего на угле с зольностью  $\approx 15\%$  в течении 6000 ч/год, можно повышением КПД нетто энергоблока на  $\approx 5\%$  (абсолютных), либо повышением КПД золоуловителя на  $\approx 0,5\%$  (абсолютных). При этом каждый процент прироста КПД нетто энергоблока обеспечивает все меньшее снижение валового выброса золы. Очевидно, что капиталовложения во втором случае несопоставимо меньше.

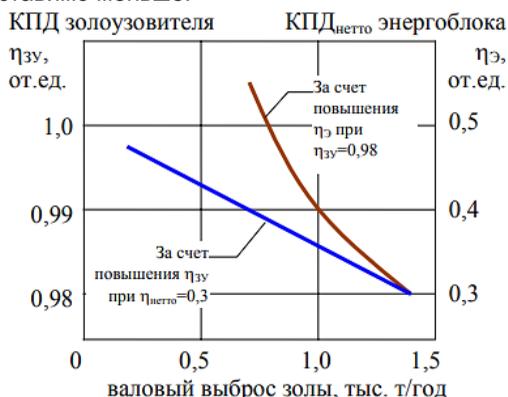


Рис.К сравнению мероприятий по снижению валового выброса золы для энергоблока мощностью 200 МВт: зависимости носят качественный характер без привязки к конкретной ТЭС.

Кроме того, для очистки промышленных газов от загрязнений (зола, пыль и другие твердые частицы) были созданы специальные высокоэффективные фильтры и установки. Принцип их работы основан на применении электростатического осаждения — одного из самых эффективных способов удаления твердых частиц из газа, а так же качественной фильтрации посредством пористых слоев и перегородок, промывки газов и отделения частиц за счет воздействия гравитационных сил, то есть инерционной сепарации.

В последнее время были разработаны и созданы универсальные электрофильтры, производительность которых, в зависимости от их типа и размера, колеблется в пределах от 30 тысяч до 1.4 миллиона кубометров в час ( $m^3/ч$ ). Данные фильтры оснащены ленточно-игольчатыми и осадительными коронирующими электродами С-образной формы. Конструкция электрофильтров создана специальным

образом, позволяющим монтировать эти элементы скоростным способом.

Очистка газов от взвешенных частиц в электрофильтрах осуществляется под действием электрических сил. Частицам передается электрический заряд и под действием электрического поля они, уже заряженные, начинают двигаться, преодолевая при этом сопротивление газовой среды, к осадительным электродам, где скапливаются на их поверхности в виде слоя пыли. Качество отделения частиц пыли в электрофильтре напрямую зависит от показателя ее проводимости. Способность пыли проводить ток можно улучшить посредством увлажнения горячего газа перед подачей в электрофильтр. При этом, температура не должна опускаться ниже точки росы.

По сравнению с другими пылеулавливающими аппаратами, у электрофильтров есть целый ряд своих преимуществ:

- очень высокая степень очистки газа, которая достигает 99, %;
- небольшие энергетические затраты на улавливание частиц пыли, которые состоят из удельных затрат энергии (как правило, от 0,1 до 0,5 кВт/ч на очистку 1000 кубометров газа) и потерь энергии на преодоление газодинамического сопротивления электрофильтра (обычно не превышает 150-200 Паскалей);
- способность улавливать частицы размером 0,5 микрон и меньше;
- достаточно широкий диапазон концентрации частиц пыли (от 0,01 до 50 грамм на кубический метр);
- способность очищать большие объемы запыленных газов (сотни тысяч и даже миллионы кубических метров в час);
- способность очищать газы с высокой температурой (выше 500°С).

К недостаткам электрофильтров можно отнести высокую чувствительность процесса электрической фильтрации газов к отклонениям от тех параметров режима, которые были изначально заданы, а так же несущественные дефекты в активной зоне агрегата.

Стоит отметить, что такие установки, как электрофильтры, способны обеспечить высокую степень очистки газа, в том числе и от мельчайших частичек. Однако такие устройства довольно часто требуют предварительной подготовки газов. К тому же они совершенно не подходят для отделения частиц, имеющих небольшое удельное электрическое сопротивление.

Анализируя фильтры для очистки газов, можно увидеть одну закономерность: рост эффективности данных аппаратов, как правило, связан с их размером и с увеличением затрат энергии. К примеру, если взять электрофильтры, то выяснится, что они наиболее эффективно очищают от пыли именно при меньших скоростях запыленного газа, а это значит, что при использовании оборудования больших размеров. А вот скрубберы Вентури и циклоны тем эффективнее проводят очистку, чем больше их гидравлическое сопротивление, то есть чем выше у них затраты энергии на перекачивание газов. Именно поэтому в каждом

конкретно взятом случае нужно выбирать аппарат, учитывая абсолютно все условия.

Полностью исключить воздействие топливного цикла на окружающую среду нельзя. Однако принятие мер, таких как, ужесточение норм предельно допустимых концентраций, внедрение экологически чистых ТЭС, применение природоохранных технологий, обеспечит уменьшение влияния на окружающую среду всех стадий топливно-энергетического комплекса.

### Литература

1. Щинников П.А. Некоторые экологические проблемы от действия ТЭС и возможные пути их решения: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 41 с
2. Пугач Л.И. Энергетика и экология: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 197 с.
3. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2002 г. – М.: Росгидромет, 2003. – 295 с.
4. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с
5. Шупарский А.И. Оптимизация природоохранных мероприятий в теплоэнергетике. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1992. – 128 с

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

УДК 621.7.06

А.М. Власов ст. преподаватель,  
В.А. Полетаев д.т.н. .,

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, Рабфаковская, 34  
E-mail: [poletaev@tam.ispu.ru](mailto:poletaev@tam.ispu.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ УСТРОЙСТВ

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследования рабочего зазора магнитожидкостных герметизаторов в зависимости от величин шероховатости и волнистости поверхностей полюсов и втулок.

**Ключевые слова:** шероховатость, волнистость, магнитное поле, ферромагнитная жидкость, температура.

A.M. Vlasov Art. teacher,  
V.A. Poletaev Doctor of Technical Sciences,

Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya, 34  
E-mail: [poletaev@tam.ispu.ru](mailto:poletaev@tam.ispu.ru)

## RESEARCH OF WORKING GAP OF MAGNETIC-FLUID DEVICES

**Annotation.** The paper presents the results of a study of the working gap of magneto-liquid sealants depending on the roughness and waviness of the surfaces of the poles and bushings.

**Key words:** roughness, waviness, magnetic field, ferromagnetic fluid, temperature.

Магнитожидкостными устройствами или герметизаторами, являются электротехнические устройства, которые обеспечивают герметичность конструкции при передаче вращающего момента из одной среды в другую. На электродвигателях с целью защиты подшипника и других внутренних деталей двигателя от воздействия влаги и пыли с целью увеличения его ресурс применяют магнитожидкостные устройства.

Возможны различные конструктивные исполнения магнитожидкостного устройства в зависимости от особенностей уплотняемого вала, материалов съемной втулки вала и корпуса, диаметра втулки вала, наличия биений вала относительно корпуса и

вида этих биений, объёма заправляемой ферромагнитной жидкости и других требований [1-2].

Наиболее распространённой является цилиндрическая конструкция магнитожидкостного устройства (рис. 1), в которой магнитная жидкость играет роль уплотнителя зазора между вращающимся валом и неподвижными полюсами.

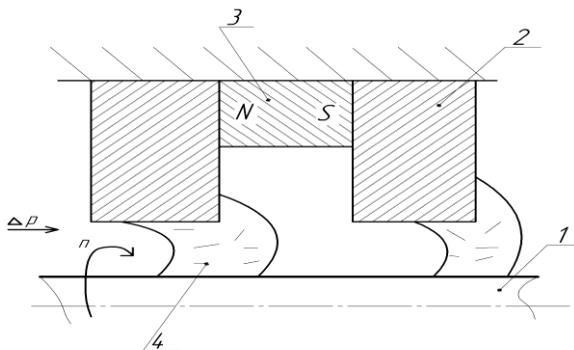


Рис. 1. Цилиндрическая конструкция магнитожидкостного устройства: 1– вал; 2 – полюсный наконечник; 3– постоянный магнит; 4– магнитная жидкость

Для увеличения удерживаемого перепада давлений, уменьшения момента трения и осевого размера магнитожидкостного устройства, на его полюсах выполняются концентраторы магнитного поля (выступы) различной формы [3].

На рис. 2 представлены наиболее распространённые виды форм, применяемые в магнитожидкостных устройствах.

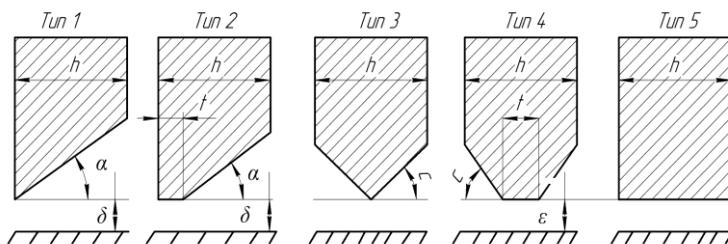


Рис. 2. Различные формы зубцов, применяемые в магнитожидкостных устройствах

### Основная часть.

Одним из важнейших параметров электромеханических устройств является момент трения. В магнитожидкостных герметизаторах

стремятся снизить момент трения, определяющий внутренние тепловыделения и разогрев устройства. В электромеханических устройствах при переходе магнитного потока из воздуха в магнитопроводящую деталь в приповерхностном слое шероховатой поверхности детали происходит перераспределение магнитного поля. Для большинства электромеханических устройств – электрических машин, трансформаторов, магнитных реле и т.д. распределение магнитного поля в приповерхностном слое на их основные технические характеристики практически не влияет. Но в устройствах, где используются мелкодисперсные магнитные среды (магнитные жидкости, магнитные порошки, тонкие пленки), в системах с движущимися электропроводящими жидкостями, перераспределение напряженности магнитного поля около шероховатой магнитопроводящей поверхности может существенно поменяться происходящие в них физические и технологические процессы, а также параметры технических устройств [4-5].

Подшипники скольжения со смазкой из ферромагнитной жидкости и магнитожидкостные уплотнения, как правило, просты по конструкции.

От угловой скорости, вязкости магнитной жидкости и величины шероховатости и волнистости вращающегося вала зависит толщина слоя магнитной жидкости.

На момент трения магнитожидкостных устройств влияют вязкость используемой магнитной жидкости, напряженность магнитного поля, градиент скорости сдвига в рабочем зазоре устройства, величина рабочего зазора, включающая величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью, а изнашивание контактирующих поверхностей здесь практически исключается.

Фактическая площадь контакта в рабочем зазоре магнитожидкостных устройств включает в себя не только площадь соприкосновения прослойки магнитной жидкости с валом, но и сумму площадей внутренней поверхности съемного полюса и наружной поверхности сменной втулки с прослойкой из ферро-магнитной жидкости [6].

Разработанная модель рабочего зазора устройства, образованного поверхностями с разной величиной шероховатости показана на рис. 3 [7].

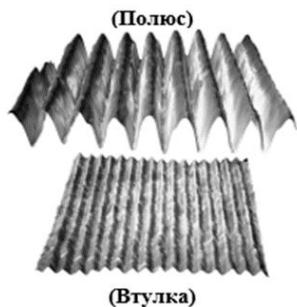


Рис. 3. Модель рабочего зазора, составленного из поверхностей втулки (сталь 40X13) с шероховатостью  $Ra=0,945$  мкм ( $Rz = 4,026$  мкм) и полюса (сталь 3) с шероховатостью  $Ra=3,301$  мкм ( $Rz = 14,333$  мкм)

Когда нет возможности выполнить цельный постоянный магнит, для необходимости герметизации вала большого диаметра, его выполняют сборным из большого числа элементов [8-9]. Чаще всего для этого изготавливается дисковый сепаратор 1 из немагнитного материала, в который и укладываются стандартные дисковые постоянные магниты 2 (рис. 4.).

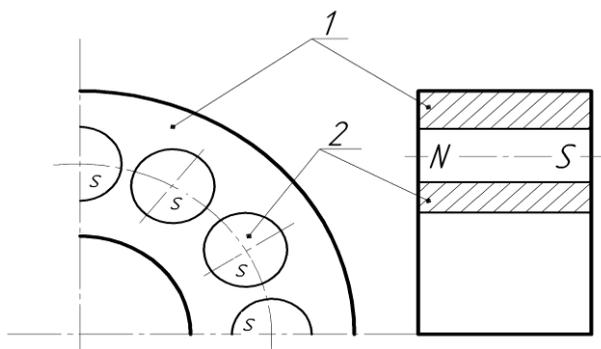


Рис.4. Дисковый сепаратор: 1–сепаратор; 2–магниты

### Выводы.

В магнитожидкостных устройствах требуется обеспечить высокую точность изготовления размеров деталей и правильное выполнение опор вращения. Эксцентриситет и биение вала относительно поверхности полюсов, параметр величины шероховатости поверхности приводят к неравномерному распределению магнитного поля в зазоре, появлению силы одностороннего магнитного притяжения, повышению момента трения, снижению работоспособности магнитожидкостных устройств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Страдомский Ю.И., Перминов С.М. Магнитная проводимость зазора магнитожидкостного уплотнителя и ее влияние на удерживаемый перепад давлений. /Магнитные жидкости в электрических аппаратах с

магнитожидкостным рабочим телом./ Ю.И. Страдомский, С.М. Перминов. //Межвузовский сборник научных трудов. – Иваново, – ИЭИ, – 1982, – С.47-57.

**2. Страдомский Ю.И.,** Перминов С.М.Борисов С.С. Исследование рабочей зоны магнитожидкостного уплотнения./ Ю.И. Страдомский, С.М. Перминов, С.С. Борисов. //Материалы 3 Всесоюзной школы-семинара по магнитным жидкостям. – М. МГУ, –1983, – С. 239–240.

**3. Полетаев В.А.,** Перминов С.М., Власов А.М., Пахолкова Т.А. Применение концентраторов магнитного поля прямоугольной формы в магнитожидкостных герметизаторах / В.А. Полетаев, С.М. Перминов, А.М. Власов, Т.А. Пахолкова, //Новые материалы и технологии в машиностроении: сборник научных трудов. –Брянск: ФГБОУ ВПО "Брянская государственная инженерно-технологическая академия".– 2014. – №20. – С.59 – 62

**4. Перминов С.М.,Перминова А.С.,Полетаев В.А** Патент № 22531070 РФ. Магнитожидкостное уплотнение вала с пониженным моментом трения; опубл. 20.10.2014, Бюлл. №29. 2с[

**5. Перминов С.М., Перминова А.С.,Полетаев В.А** Патент № 2536863 РФ. Способ повышения ресурса и надежности устройств с нанодисперсной магнитной жидкостью; опубл. 20.12.2014, Бюлл., №36.2с

**6. Полетаев В.А., Власов А.М., Пахолкова Т.А** Расчет фактической площади контакта в подшипниках скольжения при гидродинамической (жидкостной) смазке. В.А Полетаев, А.М. Власов, Т.А. Пахолкова // Трение и смазка в машинах и механизмах: журнал. Москва: ОООНТИ "Машиностроение" 2014. №11. С.26–31

**7. Власов А.М., Полетаев В.А., Пахолкова Т.А.** Построение трехмерной модели шероховатой поверхности. А.М. Власов, В.А Полетаев, Т.А. Пахолкова // Новые материалы и технологии в машиностроении: сборник научных трудов. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия. 2014. №20. С.19–22.

**8. Власов А.М., Полетаев В.А., Пахолкова Т.А** Установка для исследования эксплуатационных характеристик магнитожидкостных герметизаторов / А.М. Власов, В.А. Полетаев, Т.А. Пахолкова. // Вестник УГАТУ–Уфа: ФГБОУ ВО «УГАТУ», 2017.–Т.21.– №2. – С.17-23.

**9. Полетаев В.А., Власов А.М.** Исследование влияния формы концентратора магнитного поля на рабочие характеристики магнитожидкостного герметизатора / В.А. Полетаев, А.М. Власов // Вестник Брянского государственного университета: журнал. – Брянск: Брянский государственный университет. –2018. – №3. – С. 23-28

УДК 621.3

Е.В. Соловьева, магистрант,  
В.А. Полетаев, д.т.н. .,

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, Рабфаковская, 34

E-mail: [poletaev@tam.ispu.ru](mailto:poletaev@tam.ispu.ru)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

**Аннотация:** одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности алмазного выглаживания металлов является применение смазочно-охлаждающих технологических средств, позволяющее повысить стойкость инструментов, точность и качество обрабатываемых поверхностей.

**Ключевые слова:** шероховатость, смазочно-охлаждающее технологическое средство, состав, компоненты, поверхностный слой.

E.V. Solovieva, undergraduate,  
V.A. Poletaev, Doctor of Technical Sciences,

Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya, 34  
E-mail: [poletaev@tam.ispu.ru](mailto:poletaev@tam.ispu.ru)

## APPLICATION OF THE PROCESS DIAMOND IRONING

**Abstract:** one of the most effective ways to increase the efficiency of diamond smoothing of metals is the use of lubricating-cooling technological means, which allows to increase the durability of tools, the accuracy and quality of the machined surfaces.

**Key words:** roughness, cutting lubricant, composition, components, surface layer.

Надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей машиностроительного производства, которое характеризуется геометрическими ( шероховатость и волнистость поверхности) и физико-механическими параметрами. При эксплуатации детали машин контактируют друг с другом или с окружающей средой. От качества поверхностного слоя деталей машин зависят их эксплуатационные свойства. Роль качества поверхности значительно возрастает в связи повышением температур и давлений, увеличением скоростей перемещения рабочих органов, с интенсификацией эксплуатационных процессов машиностроительного производства.

Обработка алмазным выглаживанием является одним из наиболее простых и эффективных методов обработки поверхностей деталей машин поверхностно-пластическим деформированием. В настоящее время обработка алмазным выглаживанием получает все более широкое распространение в машиностроении и [1-4].

Эффективность применения алмазного выглаживания во многом зависит от правильного выбора условий механической обработки и от правильного подбора смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС). СОТС в процессе обработки алмазным выглаживанием оказывает охлаждающее и смазывающие воздействие. Охлаждающее воздействие СОТС заключается в удалении теплоты, образуемой на поверхности трения из зоны обработки детали . Охлаждение зоны обработки поверхности уменьшает износ

инструмента, а также улучшает качество обработанной поверхности детали. Смазывающее воздействие заключается в образовании на поверхности обрабатываемой поверхности детали защитных пленок из компонентов активной среды СОТС, которые удерживаются силами физического и химического взаимодействия. Данные пленки снижают силы трения, защищают материалы инструмента и детали от физико-химического взаимодействия.

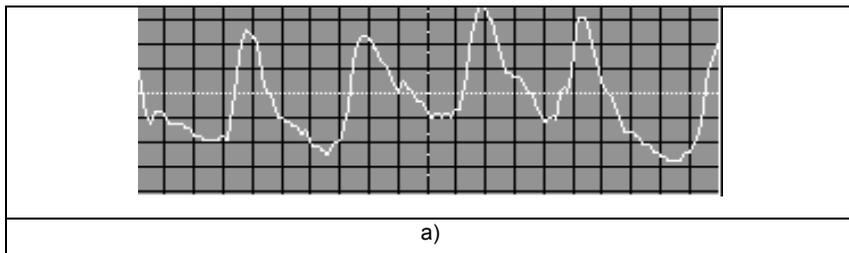
К таким смазочно-охлаждающим технологическим средствам относятся пластичные СОТС, которые представляют собой смазки в виде пасты, состав которых зависит от вида загустителя. Пластичные смазочные материалы используют в мелкосерийном производстве, на операциях с низкими скоростями резания (развертывании, резьбонарезании, при выполнении ручных слесарных операций и т.д.), на операциях поверхностно-пластического деформирования, в том числе, труднообрабатываемых металлов и сплавов.

Пасты применяются также на оборудовании, где отсутствует система охлаждения, когда применение жидких СОТС по санитарно-гигиеническим условиям невозможно. Пластичные СОТС применяются однократно, но применение их экономически оправдано ввиду малого расхода на многих технологических операциях. Методы нанесения пластичных смазок различны: нанесением вручную кистью или лопаточкой на инструмент или обрабатываемую деталь, погружением инструмента в смазочный материал, подвод к зоне резания при помощи шприца и т.д.

Разработано смазочно-охлаждающим технологическим средство [5], содержащее следующие вещества: индустриальное масло И-20 (ГОСТ 20799-88), олеиновую кислоту (технические условия. ГОСТ 7580-91), полиэтиленгликоль-1000 (ТУ 2483-007 - 71150986-2006); триэтаноламин (ТУ 2423-168-00203335-2007).

Измерение шероховатости производилось на приборе профилометре-профилографе модели АБРИС-ПМ7.

На рис.1. показаны профилограммы шероховатости  $R_a$  в зависимости от метода обработки для детали из стали 40Х13: а) – точение; б) – точение + алмазное выглаживание,



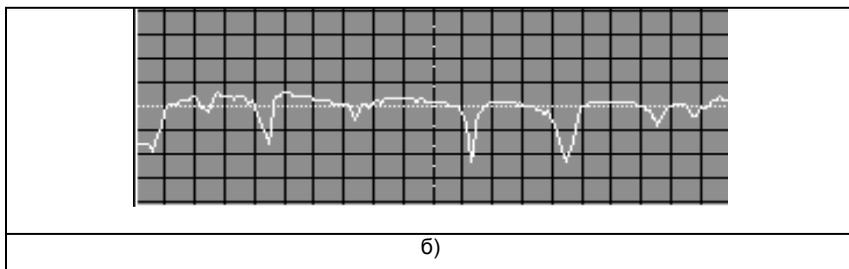


Рис.1. Профилотграммы шероховатости  $R_a$  в зависимости от метода обработки для детали из стали 40X13: а) –точение; б)– точение + алмазное выглаживание.

На рис.2. показана гистограмма изменения шероховатости  $R_a$  после обработки алмазным выглаживанием деталей из стали 40X13 с применением разного состава СОТС: 1-индустриальное масло И-20; 2-разработанный состав СОТС в виде пасты.

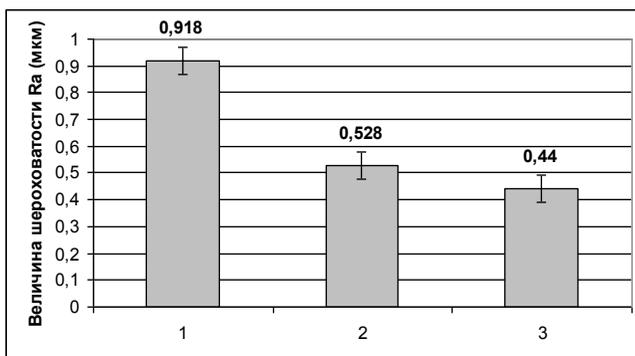


Рис. 2 Изменение шероховатости  $R_a$  после обработки алмазным выглаживанием деталей из стали 40X13 с применением разного состава СОТС.: 1 – точение; 2 – точение + алмазное выглаживание с применением СОТС (индустриальное масло И-20); 3 – точение + алмазное выглаживание с применением разработанного состава СОТС

**Выводы.** С применением предлагаемого состава смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) величина шероховатости  $R_a$  после обработки алмазным выглаживанием поверхностей деталей из сталей 40X13 на 15– 20 % меньше, чем после обработки поверхностно-пластическим деформированием с использованием индустриального масла И-20. Это свидетельствует о том, что смазочно-охлаждающее технологическое средство в виде пасты имеет улучшенные смазочные свойства и за счет этого активнее проникает в зону контакта инструмент – обрабатываемая поверхность детали и удерживается там во время механической обработки [6-7].

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Полетаев В.А.**, Егорычева Е.В. Исследование характеристик поверхностного слоя деталей электронасосов / В.А. Полетаев, Е.В. Егорычева. // Наука и мир: журнал.— Волгоград. 2014.— №10.— Т.1. – С.50 – 55
2. **Полетаев В.А., Пучков П.В.** Повышение качества поверхностей трения деталей электронасосов. /Полетаев В.А., Пучков П.В. // «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». – 2015 –№ 9. – С. 74 -76.
3. **Голяс А.А., Полетаев В.А.** Совершенствование процессов механической обработки в энергетическом машиностроении за счет внедрения процесса алмазного выглаживания / А.А. Голяс, В.А. Полетаев // Электромеханотроника и управление "Энергия-2016": одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Иваново, 5-7 апреля 2016 года: материалы конференции.— Иваново: УИУНЛ ИГЭУ.— 2016.— Т.4. – С.122 – 124
4. **Полетаев В.А.**, Шпенькова Е.В., Голяс А.А. Исследование механических характеристик поверхностного слоя деталей электронасосов, упрочненных алмазным выглаживанием / В.А. Полетаев, Е.В. Шпенькова, А.А. Голяс // Сборка в машиностроении, приборостроении: журнал.— Москва: Инновационное машиностроение.— 2017.— №7. – С.311 – 317
5. **Патент РФ №2674162.** Смазочно-охлаждающее технологическое средство для обработки металлов резанием и процессов поверхностного деформирования./ Полетаев В.А., Ведерникова И.И., Голяс А.А., Шпенькова Е.В., Степанова Т.Ю. Заявка №2674162 от 16.11. 2017. Оpubл. в Б.И. №34 от 05.12. 2018
6. **Полетаев В.А.**, Шпенькова Е.В., Голяс А.А. Исследование механических характеристик поверхностного слоя деталей электронасосов, упрочненных алмазным выглаживанием / В.А. Полетаев, Е.В. Шпенькова, А.А. Голяс // Сборка в машиностроении, приборостроении: журнал.— Москва: Инновационное машиностроение.— 2017.— №7. – С.311 – 317
7. **Голяс А.А., Полетаев В.А.** Совершенствование процессов механической обработки в энергетическом машиностроении за счет внедрения процесса алмазного выглаживания / А.А. Голяс, В.А. Полетаев // Электромеханотроника и управление "Энергия-2016": одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Иваново, 5-7 апреля 2016 года: материалы конференции.— Иваново: УИУНЛ ИГЭУ.— 2016.— Т.4. – С.122 – 124

УДК 621.313

А.В. ЛИХАЧЕВА, старший преподаватель.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
E-mail: anna@em.ispu.ru

**Использование приложений инженерных и математических расчетов в учебном проектировании электрических машин**

**Аннотация.** Рассмотрены задачи учебного проектирования электрических машин, на которые следует обращать внимание при изучении студентами современных расчетных приложений.

**Ключевые слова:** учебное проектирование, САПР электрических машин.

A.V. LIKHACHEVA, senior teacher.

Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin  
153003, Ivanovo, Rabfakovskaya, 34  
E-mail: anna@em.ispu.ru

## **Using engineering and mathematical computational applications in the electric machines educational design**

**Annotation.** The problems of educational design of electric machines are considered, which should be paid attention to when students study modern computational applications.

**Key words:** educational design, CAD of electric machines.

Одной из задач учебного проектирования электрических машин является обучение студентов работе с приложениями инженерных и математических расчетов. Очевидно, что процесс обучения не должен дублировать многочисленную литературу по таким пакетам – учебники, пособия и самоучители, содержание которых строится как последовательное изложение инструментов. Целесообразнее показывать, как проектные задачи могут быть решены различными способами и инструментами.

Можно выделить ряд задач учебного проектирования, на вычислительную реализацию которых следует обратить внимание:

1. Получение необходимой точности результатов, в том числе из регламентированных (гостируемых) значений.

Для этого необходимо знать и уметь применять имеющиеся в системах методики (функции) округления до нужной точности или разрядности и выбора из заранее задаваемых (регламентированных) значений, например, ряда стандартных напряжений, высот осей вращения электрических машин.

2. Осуществление выбора.

В процессе проектирования регулярно делается выбор из некоторых диапазонов или таблиц, например, типа изоляции – в зависимости от полученной расчётной температуры. Для автоматизации этого процесса необходимо освоение навыков программирования – умения применять условные операторы, знать их структуру в различных приложениях. Также необходимо уметь работать с данными, организовывать различные варианты расчета, понимать последовательность и структуру процесса вычислений (см. рис.1).

### 3. Использование встроенных значений и функций.



Рис.1. Последовательность вычислений в Excel и Mathcad

Такое использование предпочтительнее тем, что как правило, системные значения имеют очень высокую точность расчета. Их применение требует знания синтаксиса систем, в том числе безаргументного вызова функций или вызова встроенной переменной.

### 4. Графические построения.

Примером такого использования может служить использование для построения эскизов элементов электрических машин (полюсов, пазов и т.д.) и векторных диаграмм средствами построения графиков математического пакета Mathcad. Решение этой задачи позволяет студентам глубже понять логику работы Mathcad с ранжированными переменными и принципы построения графиков.

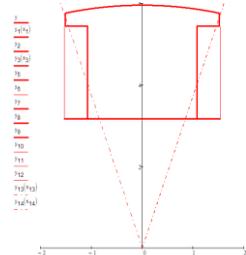


Рис.2. Предварительный эскиз полюса ротора

На рис.2 приведен фрагмент кафедральной программы проектирования и поверочных расчетов синхронных машин, выполненной в среде Mathcad (программа основана на изложенной в [1] методике).

### 5. Анализ результатов.

Оценка правильности полученных результатов не может быть полностью решена программно, однако нужно уметь организовывать вывод результатов в цифровой и графической форме для анализа на базе специальных знаний по электрическим машинам. Из непосредственно расчетных методов можно указать простановку размерностей для контроля за правильностью организации расчета.

### Литература

1. **Проектирование** электрических машин: учебник [для вузов] / И. П. Копылов [и др.] ; под ред. И. П. Копылова.—4-е изд., перераб. и доп.—М.: ЮРАИТ, 2011.—768 с: ил.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ УСТАНОВКИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ**

**Аннотация.** В работе описана конструкция экспериментальной установки по исследованию магнитоожидкостных уплотнений, а также, приведены материалы, применяемые при ее изготовлении.

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, конструкционные материалы, ферромагнитная жидкость.

A.M. Vlasov Art. Teacher

Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin  
153003 Ivanovo, Rabfakovskaya, 34  
E-mail: leshka.vlasov@gmail.com

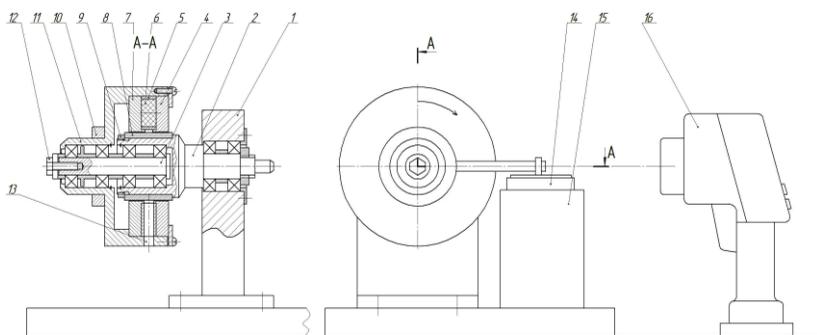
## **APPLICATION OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS IN THE MANUFACTURE OF THE INSTALLATION ON THE RESEARCH OF MAGNET-LIQUID SEAL**

**Annotation.** The paper describes the design of an experimental setup for the study of magneto-liquid seals, and also describes the materials used in its manufacture.

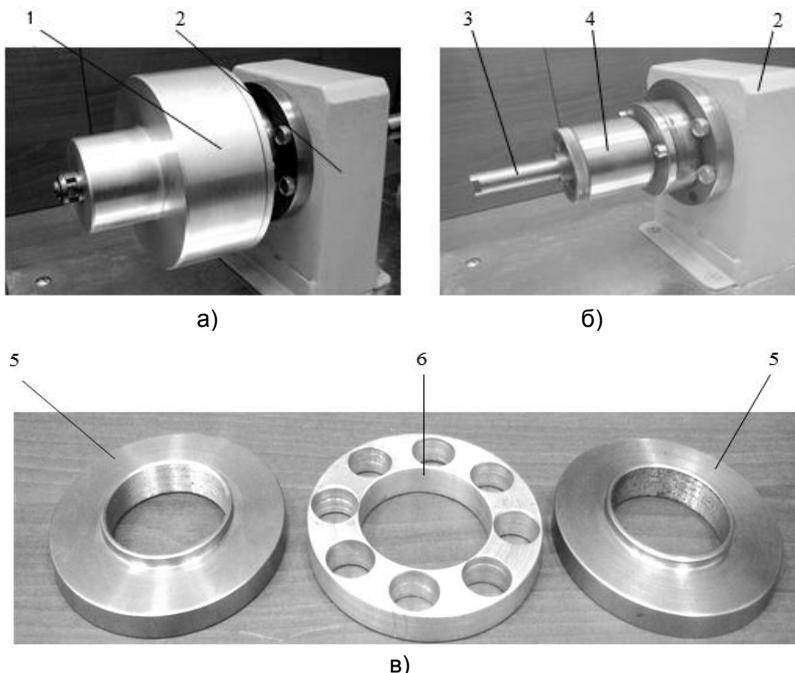
**Key words:** experimental setup, structural materials, ferromagnetic fluid.

Для исследования трибологических характеристик магнитоожидкостных уплотнений была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка представлена на Рис. 1. На Рис. 2

Магнитная жидкость размещается с равномерным рабочим зазором с однородным магнитным полем между сменными полюсами 4 и сменной втулкой 9. Источником магнитного поля являются цилиндрические постоянные магниты 6, равномерно размещенные по окружности в обойме 5. Вал 2 приводится в движение электродвигателем с регулируемой скоростью вращения. Момент трения, создаваемый магнитной жидкостью и опорными подшипниками, передается на магнитную систему устройства и измеряется электронными весами 14. Температура на поверхности сменной втулки 8 измеряется через отверстие 13 при помощи тепловизора 16.



**Рис. 1** Схема экспериментальной установки: 1 – стойка; 2 – подвижный вал; 3 – неподвижный вал; 4 – съемный полюс; 5 – диск (обойма); 6 – магнит; 7 – съемный полюс; 8 – сменная втулка; 9 – гайка; 10 – хомут; 11 – корпус; 12 – болт; 13 – отверстие для измерения температуры; 14 – весы; 15 – стойка; 16 – тепловизор.



**Рис. 2.** Фотографии отдельных элементов экспериментальной установки в собранном виде (а) и в разборном виде (б, в): 1 – корпус; 2 – стойка; 3 – неподвижный вал; 4 – сменная втулка; в) 5 – съемный полюс; 6 – диск (обойма); 7 – сменная втулка с постоянными магнитами

Для проведения исследований используется тепловизор Testo 882 с температурной чувствительностью <60 мК при 30°С. Температурный диапазон от –20°С до +100°С. Погрешность измерения ±2% от величины показания. При измерении температуры применялся коэффициент излучения 0,95.

Для исследования используются постоянные магниты типов:

- ИЖКГ из материалов ЮНДКТ5БА диаметром 10 мм с индукцией = 0,5 (Тл) и коэрцитивной силой = 120 (кА/м);
- ЕАЖИ из материала феррита стронция диаметром 15 мм с индукцией = 0,3 (Тл) и коэрцитивной силой = 158 (кА/м);
- ИЖКГ из материала феррит стронция диаметром 20 мм с индукцией = 0,3 (Тл) и коэрцитивной силой = 185 (кА/м).

Одним из основных производителей МЖ технического назначения в России является Проблемная научно-исследовательская лаборатория прикладной феррогидродинамики Ивановского государственного энергетического университета (ПНИЛ ПФГД ИГЭУ).

В табл. 1. приведены некоторые типы МЖ, выпускаемые лабораторией, их основные параметры.

Корпус 11 и обойма 5 изготовлены из алюминиевого сплава АМг6 чтобы не создавать помехи магнитной системе.

Сменные втулки 8 изготовлены из стали 3 с разными величинами шероховатости наружной поверхности Ra (0,354 мкм; 1,220 мкм; 7,210 мкм) и из стали 40Х13 при величине шероховатости наружной поверхности Ra (0,362 мкм; 0,945 мкм; 8,028 мкм).

**Таблица 1.** Типы МЖ, выпускаемые ПНИЛ ПФГД ИГЭУ

Марка МЖ	Диапазон рабочих температур, °С	Вязкость пластическая, Па·с	Намагниченность насыщения, кА/м
(№1)МКА-1-25	–50 ÷ +70	0,5 ÷ 0,6	20 ÷ 30
(№2)МКА-1-30	–60 ÷ +130	0,15 ÷ 2,0	10 ÷ 70
(№3)МКС- 350-40	–50 ÷ +150	до 2	20 ÷ 40
(№4)МКА-1-40	–70 ÷ +70	0,03 ÷ 0,8	20 ÷ 75
(№5)МКС 003-60	–50 ÷ +70	0,003 ÷ 0,02	10 ÷ 70

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Власов А.М., Полетаев В.А., Пахолкова Т.А** Установка для исследования эксплуатационных характеристик магнитожидкостных герметизаторов / А.М. Власов, В.А. Полетаев, Т.А. Пахолкова. // Вестник УГАТУ–Уфа: ФГБОУ ВО «УГАТУ», 2017.–Т.21.– №2. – С.17-23.

2. **Копосов, В.Н.** Материалы в энергетике: справочное пособие / В. Н. Копосов; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново: Б.и., 2012.—124 с.

УДК 62-83:621.313.2.077

А.Р. КОЛГАНОВ, профессор, д.т.н., С.К. ЛЕБЕДЕВ, доцент, к.т.н.,  
М.С. КУЛЕНКО, доцент, к.т.н.,

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
ул. Рабфаковская 34, г. Иваново, 153003

E-mail: [klqn@drive.ispu.ru](mailto:klqn@drive.ispu.ru), [lebedev@drive.ispu.ru](mailto:lebedev@drive.ispu.ru), [forestgummy@gmail.com](mailto:forestgummy@gmail.com)

## Проектирование системы компенсации нагрузки в мехатронной системе с наблюдателем

Рассмотрены вопросы проектирования комбинированных мехатронных систем с жесткой механикой. Предложено использование для основного контура позиционирования астатических регуляторов. Показана эффективность настройки регуляторов и наблюдателей в мехатронных системах позиционирования на распределение Бесселя. Приведены результаты синтеза наблюдателя нагрузки с учетом динамики привода и результаты исследования при разной форме нагрузки системы.

**Ключевые слова:** проектирование, электропривод, синтез регуляторов, позиционирование, робастное управление.

Alexey Kolganov, Sergey Lebedev, Mikhail Kulenco  
Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya 34, Ivanovo, 153003  
E-mail: [klqn@drive.ispu.ru](mailto:klqn@drive.ispu.ru), [lebedev@drive.ispu.ru](mailto:lebedev@drive.ispu.ru), [forestgummy@gmail.com](mailto:forestgummy@gmail.com)

## Load Compensation System Development in Mechatronic System with Observer

**Abstract:** Features of combined mechatronic systems creation with a rigid mechanics are observed in details. Usage of astatic regulators for the basic positioning loop is offered. Efficiency of regulators and observers adjustment on Bessel polynomial is shown for mechatronic positioning systems. Outcomes of synthesis of the load observer with account taken of drive dynamics and different form of load in system are resulted.

**Key words:** development, control of drive, estimation technique, mechatronics, motion control, simulation.

Мехатронные модули на основе двигателей переменного тока, преобразователей частоты и микропроцессорным управлением позволяют реализовать заданную статику и динамику, существенно повысить полосу пропускания, обеспечивая тем самым технологическое оборудование в станкостроении и робототехнике конкурентоспособными характеристиками [1], [2]. При этом характерным фактором влияния на характеристики каждой оси является кинематические и динамические связи между осями в виде переменных нагрузок сложной формы.

Астатические регуляторы в рамках регулирования по отклонению обеспечивают контроль только статической ошибки. Реализация компенсирующей связи по возмущению на основе использования наблюдателей нагрузки [2] позволяет перейти к практическому

использованию комбинированного управления, что обеспечивает контроль динамических процессов по возмущению.

Предлагается структура мехатронной системы с комбинированным управлением (рис. 1), в которой максимальным образом задействованы оба принципа управления. Используется астатический регулятор положения ( $APR$ ) для обеспечения качества регулирования по управлению и отсутствия статической ошибки по возмущению. Вместе с этим применяем наблюдатель нагрузки ( $LO$ ) для формирования контура компенсации ( $CU$ ) возмущений произвольной формы.

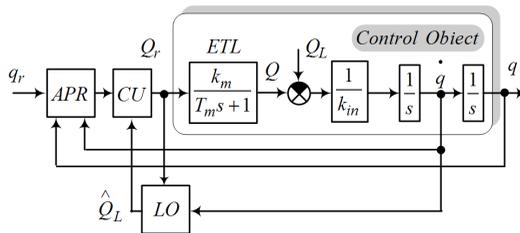


Рис. 1. Структура мехатронной системы с комбинированным управлением

Объект управления представляет собой обобщение механической части мехатронного модуля линейного или углового перемещения ( $q$ ) с «жесткой» механикой, характеризующейся инерционным коэффициентом ( $k_{in}$ ) и возмущением – механической нагрузкой ( $Q_L$ ).

Механика приводится в движение электромагнитным моментом привода ( $Q$ ), формируемым системой векторного управления по заданию ( $Q_r$ ). Эквивалентом контура регулирования момента ( $ETL$ ) служит инерционное звено с параметрами ( $k_m, T_m$ ). Задание момента в свою очередь формируется регулятором и блоком компенсации по заданию на позиционирование ( $q_r$ ), обратным связям по положению ( $q$ ), скорости ( $\dot{q}$ ) и оценке ( $\hat{Q}_L$ ) наблюдателем нагрузки ( $LO$ ).

Вид динамической характеристики определяется [3], выбранным видом распределения корней характеристических уравнений для замкнутой системы регулирования и наблюдателя нагрузки.

В системах позиционирования в силу монотонности процессов традиционно применяют распределение корней по биному Ньютона, а в наблюдателях для повышения быстродействия – распределение корней по Баттерворту [3] – [5]. Представляет интерес распределение корней по Бесселю [5], характерное тем, что обеспечивает в полосе пропускания постоянство групповой задержки:

$$D(\omega) = -\frac{d}{d\omega} \varphi(\omega) \approx 1 \quad (1)$$

Выражение (1) говорит о том, что все гармоники в полосе пропускания проходят через динамическую систему с одинаковой задержкой. Это обеспечивает максимальную сохранность формы сигнала. Фильтры Бесселя разрабатывались для обработки речи в технике связи.

В настоящей работе предлагается использовать распределение Бесселя для мехатронных модулей позиционирования и наблюдателей нагрузки. Для систем с порядком  $n=3$  характеристические полиномы распределений имеют вид:

распределение по биному Ньютона

$$s^3 + 3\omega_0 s^2 + 3\omega_0^2 s + \omega_0^3, \quad (2)$$

распределение по Баттерворту

$$s^3 + 2\omega_0 s^2 + 2\omega_0^2 s + \omega_0^3, \quad (3)$$

распределение по Бесселю

$$s^3 + 3.41\omega_0 s^2 + 4.87\omega_0^2 s + 2.77\omega_0^3, \quad (4)$$

где  $\omega_0$  – среднегеометрический корень.

Полиномы (2), (3) и (4) нормированы по частоте  $\omega_0 = \omega_{-3dB}$ , обеспечивающей максимальное затухание в полосе пропускания – 3 дБ.

На рис. 2 показан фрагмент временных характеристик распределений при подаче единичного сигнала в момент времени  $t = 1$  с.

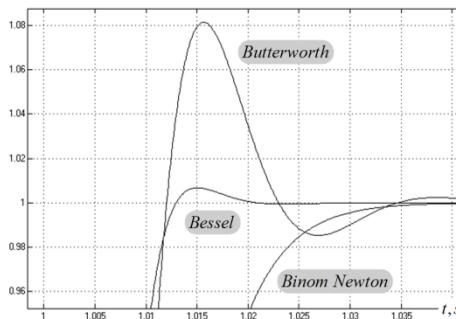


Рис. 2. Временные характеристики распределений корней

У распределения Бесселя перерегулирование находится в пределах 1%, по быстродействию распределение Бесселя опережает «конкурентов» в 2-3 раза.

Выполним синтез замкнутого контура регулирования положения для астатического регулятора положения в виде модифицированного ПИД регулятора с фильтром компенсации нулей передаточной функции замкнутой системы (рис. 3).

Такая модификация ПИД регулятора допускается для систем позиционирования, когда  $q_r(t) = const$ . При синтезе принимаем контур момента безынерционным в силу малости его постоянной времени  $T_m$ .

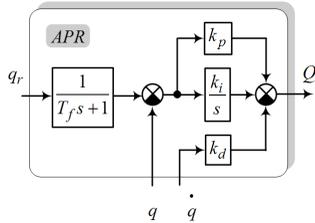


Fig. 3. Структура астатического регулятора положения

Выполним синтез параметров регулятора для заданной полосы пропускания ( $f_{pr}$ ), по которой определяем  $\omega_0 = 2\pi f_{pr}$ . Тогда параметры регулятора имеют вид:  
распределение по биному Ньютона

$$k_p = 3\omega_0^2 k_{in}, k_i = \omega_0^3 k_{in}, k_d = 3\omega_0 k_{in}; T_f = \frac{3}{\omega_0}; \quad (5)$$

распределение по Баттерворту

$$k_p = 2\omega_0^2 k_{in}, k_i = \omega_0^3 k_{in}, k_d = 2\omega_0 k_{in}; T_f = \frac{2}{\omega_0}; \quad (6)$$

распределение по Бесселю

$$k_p = 4.87\omega_0^2 k_{in}, k_i = 2.77\omega_0^3 k_{in}, k_d = 3.41\omega_0 k_{in}; T_f = \frac{4.87}{2.77\omega_0} \quad (7)$$

Выполним моделирование для трех астатических систем с параметрами регуляторов, рассчитанных по выражениям (5), (6) и (7) и одинаковыми параметрами объекта управления, полосы пропускания, задания позиционирования и задания возмущения.

На рис. 4 показаны переходные процессы всех систем, совмещенные на одном графике. Ступенчатое изменение задания позиционирования происходит в момент времени  $t=0$ , ступенчатый рост нагрузки происходит в момент времени  $t=0.3 s$ .

Сравнение полученных переходных процессов показывает, что наилучшие показатели имеет астатическая система, параметры

которой настроены на распределение корней по Бесселю. Причем наряду с выигрышем в быстродействии по управлению достигается преимущество в быстродействии и минимуме динамической ошибки по возмущению.

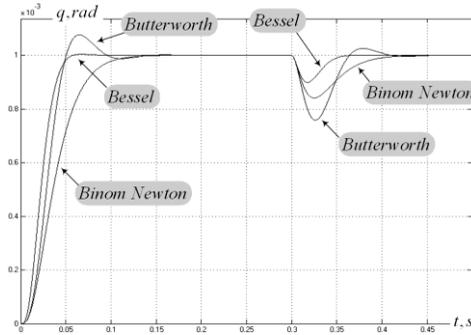


Рис. 4. Переходные процессы в астатической системе

В качестве наблюдателей нагрузки предлагается использование астатических наблюдателей состояния [1-3]. Получим наблюдатель нагрузки, учитывающий модель динамики привода, с астатизмом 1-го порядка. Для снижения порядка наблюдателя выбираем выход объекта – скорость. На рис. 5 показана исходная модель объекта управления расширенная моделью возмущения для синтеза наблюдателя нагрузки.

Уравнение состояния наблюдателя нагрузки:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{q} \\ \hat{Q} \\ \hat{Q}_L \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \hat{q} \\ \hat{Q} \\ \hat{Q}_L \end{bmatrix} + \mathbf{B}Q_r + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{bmatrix} (q - \hat{q}); \quad (8)$$

где

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 0 & \frac{1}{k_{in}} & \frac{-1}{k_{in}} \\ 0 & \frac{1}{T_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_m}{T_m} \\ 0 \end{bmatrix}$$

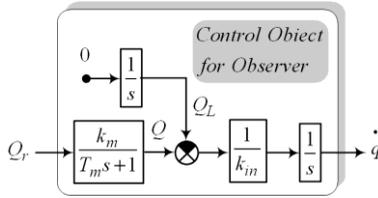


Рис. 5. Структура объекта управления расширенного моделью возмущения

По (8) получена структура наблюдателя нагрузки (рис. 6).

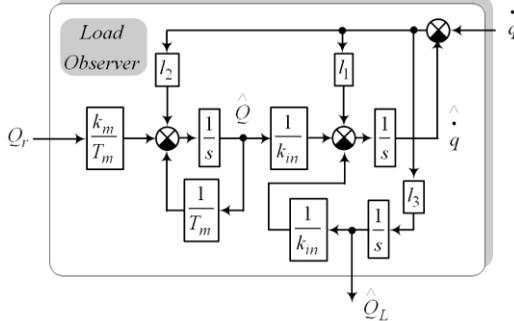


Рис. 6. Структура наблюдателя нагрузки

Для динамики наблюдателя, соответствующей распределению Бесселя получены параметры наблюдателя:

$$l_1 = 3.41\omega_{0L} - \frac{1}{T_m}; \quad (9)$$

$$l_2 = 4.87\omega_{0L}^2 k_{in} - 2.77\omega_{0L}^3 k_{in} T_m - 3.41\omega_{0L} \frac{k_{in}}{T_m} + k_{in} \frac{1}{T_m^2}; \quad (10)$$

$$l_3 = -2.77\omega_{0L}^3 k_{in} T_m; \quad (11)$$

где  $\omega_{0L} = 5\omega_0$  – среднегеометрический корень характеристического уравнения наблюдателя нагрузки.

Основные элементы блока компенсации нагрузки (рис. 7): блок компенсации динамики привода (*DDC*) и блок компенсации нулей динамики наблюдателя (*ODC*).

Передаточная функция блока *DDC* обратная передаточной функции контура момента привода (*ETL*), в итоге получаем:

$$W_{DDC}(s) = T_m s + 1. \quad (12)$$

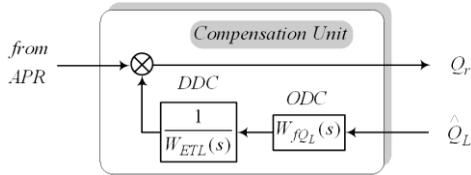


Рис. 7. Структура блока компенсации

Выполнив совместный анализ объекта и наблюдателя нагрузки, получаем передаточную функцию между нагрузкой и ее оценкой:

$$\frac{\hat{Q}_L(s)}{Q_L(s)} = \frac{-l_3(T_m s + 1)}{s^3 k_{in} T_m + s^2(k_{in} + k_{in} l_1 T_m) + s(k_{in} l_1 + l_2 T_m - l_3 T_m) - l_3} \quad (13)$$

Для компенсации нулей в (13) передаточная функция  $ODC$  должна иметь вид:

$$W_{fQ_L}(s) = \frac{1}{T_m s + 1} \quad (14)$$

Так как блоки с передаточными функциями (12) и (14) включены последовательно, контур компенсации нагрузки в блоке  $CU$  становится безынерционным.

Совместное моделирование астатической и комбинированной систем показывает (рис. 8), что контур компенсации нагрузки не влияет на процессы позиционирования (по управлению), но существенно снижает динамическую ошибку при скачке нагрузки.

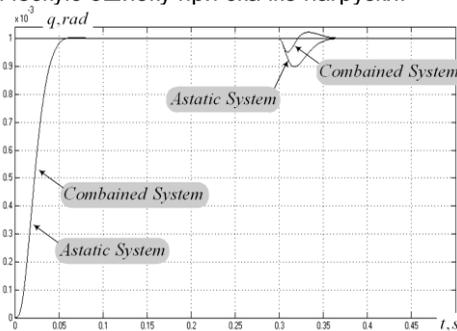


Рис. 8. Сравнение переходных процессов в системах

В связи с тем, что в реальных мехатронных системах форма изменения нагрузки может быть достаточно произвольна, проведено исследование реакции систем при нулевом задании на позиционирование. На рис. 9 показаны участки:

1. Постоянное значение нагрузки (обе системы управления даю нулевую установившуюся ошибку);
2. Линейное нарастание нагрузки (в комбинированной системе ошибка отсутствует, астатическая система дает постоянное значение ошибки);
3. Изменение по параболическому закону (в комбинированной системе ошибка отсутствует, астатическая система дает постоянно растущую ошибку);
4. Гармоническое изменение нагрузки с постоянной амплитудой и частотой (астатическая система имеет ошибку существенно большую, чем система комбинированного управления).

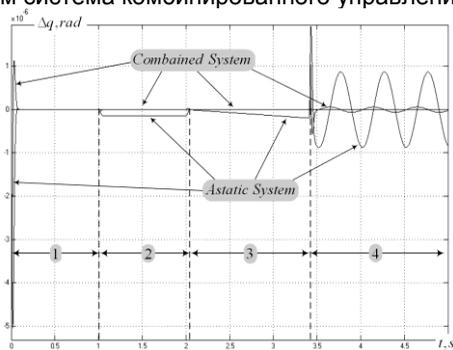


Рис. 9. Влияние на ошибку разных форм возмущений

Результаты моделирования подтверждают правильность принятых теоретических положений. Предложенные структуры не содержат элементов, исключаящих микропроцессорную реализацию, и могут быть распространены на системы различной конфигурации и назначения.

### Литература

1. **Лебедев, С.К.** Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник/С.К. Лебедев, А.Р. Колганов.–ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина».–Иваново,2018.–340 с.
2. **Колганов А.Р.** Электромеханотронные системы. Современные методы управления, реализации и применения / А.Р. Колганов, С.К. Лебедев, Н.Е Гнездов – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 256 с.
3. **Кузовков Н.Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства. Москва: Машиностроение, 1976, 218 с.
4. **Лебедев, С.К.** Модификация и настройка ПИД-регуляторов систем позиционирования промышленных манипуляторов/С.К. Лебедев, А.Р. Колганов// Электроэнергетика и энергосбережения: теория и практика/ Сборник материалов III Всероссийской

науч.-практ. конф.–Кемерово: ФГБОУВО КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2017.– С.311.1– 311.13.

5. **Мошиц, Г.** Проектирование активных фильтров/ Г. Мошиц, П. Хорн.–М.: Мир, 1984, 320 с.
6. **Денисенко, В.А.** ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации//Современные технологии автоматизации, №4, 2006, С.66-74.

# ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 331.103.226

JEL J54

**Карякин А.М.**,  
доктор экономических наук,  
профессор кафедры менеджмента и маркетинга,  
karyakin@economic/ispu/ru  
Ивановский государственный энергетический университет,  
г. Иваново

## КОМАНДНАЯ РАБОТА В УСЛОВИЯХ AGILE-ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассмотрены специфические особенности применения командной работы в условиях Agile-технологии. Раскрыты отдельные элементы реализации этапов работы над проектом в рамках Agile-технологии. Ключевые слова: Agile-технология, команда, командная работа, управление проектом.

**Karyakin AM**

## TEAM WORK WITHIN THE FRAMEWORK OF AGILE-TECHNOLOGY PROJECT MANAEMENT

The article deals with some peculiarities of the tam work in conditions of Agile-technology application in project management. The author pays special attention to the realization of the certain project stages.

Keywords: team, teamwork, project managemen.

Характерной чертой последнего десятилетия в экономике развитых стран является активное применение различных типов динамических, адаптивных структур, характеризующихся активным взаимодействием с внешней средой и высокой степенью делегирования ответственности и полномочий на нижние уровни управления, развитием коллективных форм организации труда. Коллективные формы организации труда – в современных условиях одно из важнейших направлений повышения эффективности работы организаций, широкого вовлечения работников в управление производством, развития производственной демократии, повышение творческой инициативы работников. Широкое развитие коллективных форм организации труда сегодня является общепризнанной тенденцией в развитых странах мира. Есть опыт применения подобных форм и в России [1].

Во многих случаях одним из основных компонентов подобных структур становятся рабочие команды (work team), которые способны стать средством

быстрой и эффективной адаптации к постоянно изменяющимся требованиям рынка.

Вместе с тем сегодня начинает активно внедряться Agile-методология разработки проектов, где применение командной работы имеет свои особенности.

Гибкая методология разработки проектов Agile - серия подходов к созданию ориентированных на использование [итеративной](#) разработки, динамическое формирование требований и обеспечение их реализации в результате постоянного взаимодействия внутри самоорганизующихся рабочих групп, состоящих из специалистов различного профиля

В настоящее время проект-менеджмент с поддержкой Agile по большей части распространен в IT-сфере, однако и другие сферы бизнеса его начинает активно осваивать. Эта система применяется в обучении, маркетинге, бизнесе. Например, Agile-технология широко используется в Группе компаний Ing, предоставляющая услуги в сфере банковской деятельности, страхования и управления собственностью [2].

Многие ключевые аспекты командной работы в рамках концепции Agile близки к идеологии самонаправляемых команд (self-directed teamwork) [3], но есть и свои особенности.

В основе работы команд в при применении Agile-методология лежит так называемый Scrum-подход — особая динамика работы, когда команда постоянно обсуждает, как сделать продукт лучше [4, 5].

В рамках Scrum-подхода выделяются три определяющие роли:

- Product Owner (владелец продукта);
- Scrum Master (скрам-мастер);
- Team (команда проекта).

**Product Owner** – это представитель подразделения, которое разрабатывает проект. В качестве основных функций Product Owner можно отметить:

- формулировка целей;
- определение приоритетов целей;
- корректировка приоритетов целей на каждом этапе работы (спринт по терминологии Scrum, как правило, 2-х недельный период);
- несет персональную ответственность за ценность целей для потребителей;
- обеспечивает взаимодействие с потребителями.

Роль **Scrum Master** имеет ряд существенных отличий от роли руководителя проекта в классическом project management. Так Scrum Master организует работу команды проекта, но не вмешивается в ее деятельность, например, не определяет задачи членам команды. В первую очередь в его функции входит:

- следит за корректным применением принципов Agile и процессов Scrum;
- организывает работу команды и обеспечивает её необходимыми ресурсами;
- несёт ответственность за её эффективность

Тем не менее, если скрам-процесс проходит с нарушениями, то Scrum Master должен вмешаться и исправить ситуацию.

Базовые характеристики команды проекта совпадают с характеристиками самонаправляемых команд:

- кросс-функциональная;
- взаимозаменяемая;
- самоорганизующаяся;
- с фиксированным составом (в ходе спринта)
- 4-10 человек.

Команда отвечает за разработку продукта этапами (спринтами). Команда определяет самостоятельно:

- продолжительность спринта;
- численность и состав команды;
- размер её фокус фактора (коэффициент слаженности);
- трудоемкость требований, которые будут реализованы в спринте;
- очередность выполнения задач и много другое.

Командная работа в рамках Scrum-подхода предполагает реализацию некоторых процессов, которые принято называть ритуалами. Каждый ритуал выполняется неукоснительно и в строгом соответствии с подходом. На практике такие процессы стараются немного адаптировать, но ключевые принципы не изменяют.

Можно выделить следующие **ритуалы в рамках Scrum-подхода** это:

- Sprint Planning Meeting (встреча по планированию спринта);
- Daily Meeting (ежедневная встреча команды);

Sprint Review (сдача спринта Product Owner);

- Retrospective (обмен опытом внутри команды).

Основные принципы **Sprint Planning Meeting (встреча по планированию спринта)**:

- выполняется всей командой перед началом спринта;
- команда выбирает цели из Product Backlog (журнал работ, которые необходимо выполнить в ходе проекта) и формирует Sprint Backlog (журнал оставшейся работы, которую необходимо выполнить команде в рамках спринта);
- если требуется учесть взаимосвязи между операциями, то это делается на этой встрече;
- команда декомпозирует цели на задачи;

- каждая задача проходит оценку в трудозатратах или универсальных единицах;
- во время встречи Product Owner отвечает на вопросы команды..

Встреча простая по сути, но крайне сложная по содержанию. В начале проекта может занимать 5-6 часов. И только после 3-4 спринта встреча становится более оперативной и длится 2-3 часа.

#### Основные принципы **Daily Meeting (ежедневная встреча команды):**

- проходит ежедневно и только в одно и то же время;
- встреча проходит только стоя;
- длительность встречи не более 15 минут;
- каждый должен ответить всего на 3 вопроса: что я делал вчера, чем я занимаюсь сегодня, какие есть проблемы?

Scrum Master следит за ходом встречи, побуждает участников высказываться полностью и слушать говорящего.

На ежедневной встрече команда обменивается опытом. Также становится понятно, кто и над какими задачами будет сегодня трудиться. Важно, чтобы команда делала этот ритуал самостоятельно. Scrum Masters не вмешивается в ход встречи до тех пор, пока соблюдаются все требования к этому ритуалу.

#### Основные принципы **Sprint Review (сдача спринта Product Owner).**

По завершению каждого спринта команда обязана провести демонстрацию полученного результат.

Ценность Scrum для обычного заказчика во многом состоит в том, что результат работ (плохой или отличный, не важно) будет продемонстрирован в любом случае. Это знает и команда и Product Owner и другие заинтересованные лица. Если команда не проводит Sprint Review, то это дискредитирует все преимущества гибких процессов.

Структура встречи:

- команда зачитывает цели из Sprint Backlog;
- по каждому критерию приемки происходит демонстрация полученных результатов;
- каждый вопрос со стороны Product Owner'a записывается, чтобы иметь возможность ответить на них позже;
- каждое новое требование Product Owner'a выписывается, чтобы позже включить его в Product Backlog.

На встрече могут присутствовать любые сотрудники организации или просто заинтересованные лица. Важно, чтобы право голоса имели только участники Scrum процесса (Product Owner, Team, Scrum Master).

#### Основные принципы **Retrospective (обмен опытом внутри команды).**

Ритуал, который направлен на обмен опытом внутри команды. Встреча проводится после Sprint Review. На встрече присутствует вся команда и Scrum Master. На встрече может присутствовать Product Owner, если считает нужным.

Методика проведения встречи варьируется в зависимости от проекта, его команды и просто традиций в коллективе. Тем не менее, должны быть озвучены ответы на следующие вопросы:

- какие решения должна принять команда, чтобы сделать процесс более предсказуемым?
- какие проблемы мешают команде выполнять взятые на себя обязательства?
- как улучшить взаимодействие с Product Owner ?
- какие ошибки совершает команда и почему.

Решения должны быть записаны на отдельной доске. После всеобщего голосования решения принимаются к исполнению со следующего спринта. Scrum Master контролирует ход встречи и следит за её регламентом.

Изложенные выше особенности командной работы при использовании Agile-технологии являются, по существу, лишь верхушкой айсберга. Положительный опыт применения Agile-технологии при управлении проектами в различных компаниях предопределяет необходимость дальнейшего изучения теоретических и практических аспектов командной работы.

### Литература

1. Work Teams: Past, Present and Future / Beyerlein M, Gully S, Karyakin A, et al / - Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 2000
2. Squads, sprints and stand-ups [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ing.com/newsroom/all-news/squads-sprints-and-stand-ups.htm> (дата обращения 21.05.2019).
3. Карякин А.М. Командная работа: основы теории и практики/[А. М. Карякин](#), [В. В. Пыжиков](#) /ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». - Иваново, 2008.
4. AGILE – гибкая система управления проектами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://4brain.ru/blog/agile/> (дата обращения 20.05.2019).
5. Швабер К. Скрам Гайд / К. Швабер, Д. Сазерленд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/scrum-guide-rus.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

**УДК 542.08**

Н.Н. ЯРУНИНА, к.т.н., доцент  
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34  
E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

## **Формирование у студентов навыков проектно-исследовательской деятельности в процессе изучения химии**

**Аннотация.** В работе показана актуальность проводить исследования и разрабатывать проекты начиная с первого курса в том числе и на занятиях по химии.

**Ключевые слова:** исследовательская работа, проект, проектно-исследовательская деятельность студента.

N.N. YARUNINA, candidate of technical sciences, associate professor  
Ivanovo State Power Engineering University  
153003, Ivanovo, Rabfakovskayast., 34  
E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

### **Formation of students ' skills of design and research activities in the process of studying chemistry**

**Annotation.** The paper shows the relevance of conducting research and developing projects starting from the first year including in the classroom in chemistry.

**Keywords:** research work, project, design and research activities of the student.

Умение проводить исследования, разрабатывать проекты связано с получением важнейших профессиональных компетенций при подготовке специалиста в области энергетики.

Формирование у студентов навыков связанных с проектно-исследовательской деятельностью следует начинать уже на первом курсе при изучении химии.

Проектно-исследовательская деятельность – это готовность и способность человека при решении возникающих перед ним проблем двигаться новыми, нестандартными, изобретательскими путями; не довольствоваться готовыми схемами и стереотипами, выходить за рамки нормативных схем.

Для освоения навыков исследовательской работы в процессе изучения химии основная нагрузка ложится на лабораторный практикум, который является сочетанием экспериментальной задачи, расчетной части и теоретической работы в виде формирования научной гипотезы и выводов и отражает основные этапы научно-исследовательской деятельности.

Навыки исследовательской работы приобретаются и на занятиях, где проводятся и теоретические исследования, результатом которых является так же интеллектуальный, творческий продукт (знания), устанавливающий ту или иную истину в результате процедуры исследования.

Приобретенные навыки экспериментальной работы и освоение принципов исследовательской деятельности находят свое дальнейшее развитие в разработке проектов в области энергетики. Обучая учащихся синтезу, анализу, аналогии, знакомя их с основными методологическими принципами такого рода деятельности (постановка проблемы, выдвижение гипотезы, анализ литературных и экспериментальных данных, теоретическое обоснование, выводы по достигнутым результатам), преподаватель подготавливает студента к осознанию необходимости самостоятельной исследовательской работы как наиболее полной формы реализации их творческого потенциала, самораскрытия и самореализации личности.

Одним из наиболее распространенных видов исследовательского труда студентов в процессе учения сегодня является метод проектов. Метод проектирования коренным образом меняет функцию учащегося в образовательном процессе. Этот метод делает студента не объектом, на который направлена обучающая активность преподавателя, а субъектом процесса обучения.

Проект – это возможность делать что-то интересное самостоятельно или в группе, проявить себя, попробовать свои силы, приложить свои знания, принести пользу и показать публично достигнутый результат.

Выполнение проекта требует инициативного, самостоятельного, творческого решения студентом выбранной проблемы, а сама проектная деятельность имеет в основном продуктивный характер.

Методика организации работы над проектом предусматривает следующие этапы:

- подготовка – определение темы и цели проекта. Преподаватель знакомит студентов со смыслом проектного подхода и помогает им в постановке целей.
- планирование – определение источников информации, способов сбора и анализа информации, определение способа представления информации. Студенты разрабатывают план действий, формулируют задачи, выдвигают гипотезы.
- исследование – это стадия сбора информации, решения промежуточных задач.
- представление результатов – формы представления результатов разнообразны: устный отчет, письменный отчет, представление модели.
- оценка результата и процесса – студенты принимают участие в оценке проекта, они обсуждают его и дают самооценку. Лучшие работы публикуются и представляются на конференциях молодых ученых.

Организация проектно-исследовательской деятельности студентов, в том числе и на занятиях по химии, создает положительные результаты: у них формируется научное мышление, а не простое накопление знаний. Анализ работ студентов свидетельствуют о

развитии познавательных функций, об их умении критически оценивать различные подходы к решению исследовательских задач, что несомненно будет способствовать успешному обучению в вузе.

УДК 544.2

Н.Н. ЯРУНИНА, к.т.н., доцент  
Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина  
153003 г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34  
E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

## Актуальность изучения физической химии в энергетических вузах

**Аннотация.** Изучение на первом курсе физической химии создает базовые основы для глубокого и качественного понимания студентами многих прикладных дисциплин в энергетическом вузе. Это связано с тем, что физическая химия изучает процессы лежащие в основе многих современных технологий в области энергетики и электротехники.

**Ключевые слова:** физическая химия, строение вещества, термодинамика, химическая кинетика, электрохимия.

N.N. YARUNINA, candidate of technical sciences, associate professor  
Ivanovo State Power Engineering University  
153003, Ivanovo, Rabfakovskayast., 34  
E-mail: [yarunina-nata@yandex.ru](mailto:yarunina-nata@yandex.ru)

## Formation of students ' skills of design and research activities in the process of studying chemistry

**Annotation.** The first-year study of physical chemistry creates the basic foundations for a deep and qualitative understanding of students of many applied disciplines in the energy University. This is due to the fact that physical chemistry studies the processes underlying many modern technologies in the field of energy and electrical engineering.

**Keywords:** physical chemistry, structure of matter, thermodynamics, chemical kinetics, electrochemistry.

Название и определение содержания физической химии впервые дано М. В. Ломоносовым (1752): «Физическая химия – это наука, которая должна на основании положений и опытов физических объяснить причину того, что происходит через химические операции в сложных телах».

Преподавание в России физической химии как самостоятельной науки ввел проф. Н. Н. Бекетов в 1860 г. в Харьковском университете.

В Западной Европе в 1887 г. немецкий ученый В. Оствальд начал читать курс физической химии в Лейпцигском университете. В этом же

году начал издаваться журнал по физической химии, и эта наука получила официальное всемирное признание.

Важнейшие теоретические и экспериментальные исследования Ломоносова привели его к открытиям, которые и сейчас не потеряли своего значения. Ломоносов близко подошел к правильному определению принципа сохранения материи и движения, кинетической природе теплоты, а также отметил невозможность самопроизвольного перехода теплоты от более холодного тела к более тепловому, что является в настоящее время одной из формулировок второго начала термодинамики.

В течение последующего столетия проводились исследования, на основе которых было сделано много важных открытий и обобщений. К.В. Шееле в Швеции (1773) и Фонтана во Франции (1777) открыли адсорбцию газов; Т.Е. Ловиц в России (1785) открыл адсорбцию из растворов. А.Л. Лавуазье и П.С. Лаплас во Франции (1779–1784) изучали теплоемкости веществ и тепловые эффекты реакций.

В начале XIX в. Г. Дэви в Англии и Л.Ж. Тенаром во Франции были открыты каталитические реакции, а Й.Я. Берцелиус в Швеции (1835) развил далее представления о катализе.

Основы электрохимии были заложены исследованиями по гальваническим элементам, электролизу и переносу тока в электролитах. Гальвани и А. Вольта в Италии создали в 1799 г. гальванический элемент. В.В. Петров в России (1802) открыл явление электрической дуги. Т. Гротгус в России в (1805) заложил основы теории электролиза. В 1800 г. Г. Дэви выдвинул электрохимическую теорию взаимодействия веществ: он широко применил электролиз для химических исследований. М. Фарадей, ученик Дэви, в 1833–1834 гг. сформулировал количественные законы электролиза. Б.С. Якоби в России, решая вопросы практического использования процесса электролиза, открыл в 1836 г. гальванопластику.

Шведский ученый С.А. Аррениус развил в 1883–1887гг. теорию электролитической диссоциации. Великий русский химик Д.И. Менделеев (1834–1907) открыл существование критической температуры (1860), вывел общее уравнение состояния газов (1874) и разработал химическую теорию растворов.

В конце XIX в. был сделан ряд крупных открытий в области учения о строении вещества, которые доказали сложность строения атома и сыграли огромную роль в развитии физической химии.

Таким образом, к началу XX в. физическая химия определялась как наука, изучающая строение вещества, химическую термодинамику, включая термохимию и учение о равновесии, растворы, химическую кинетику и электрохимию. Были применены новые теоретические методы и на первый план выступили исследования строения атомов, молекул и кристаллов.

В настоящее время физическая химия самостоятельная дисциплина со своими методами исследования и является теоретической базой прикладных дисциплин в энергетике и электротехнике.

В энергетическом вузе программа изучения физической химии должна включать следующие основные разделы:

1) Строение вещества (раздел, в котором изучается взаимосвязь между строением атомов, молекул и их физическими и химическими свойствами).

2) Химическая термодинамика (область физической химии, в которой изучаются тепловые балансы химических и физических процессов в различных условиях и устанавливается возможность и направление течения процесса).

3) Химическая кинетика (изучает скорости химических реакций и их зависимость от различных условий).

4) Электрохимия (изучает взаимосвязь химических и физических процессов в растворах с электрическими явлениями).

Обычно, в зависимости от конкретной специальности и факультета, в программе курса более подробно рассматриваются только 2-3 раздела из вышеперечисленных, которые наиболее необходимы студентам для понимания прикладных дисциплин по своей специальности на старших курсах.

С одной стороны, физическая химия является экспериментальной наукой: с использованием экспериментальных физических и химических методов исследования строения вещества, структуры молекул, элементарных актов химических взаимодействий. С другой стороны, наука теоретическая, т. к. имеет свой богатый математический аппарат, позволяющий теоретически рассчитать строение молекул, возможность их взаимодействия друг с другом, скорость реакции, ее тепловой эффект и др. Тесное сочетание теории и эксперимента в физико-химических исследованиях позволяет успешнее решать научные и прикладные задачи в энергетике и электротехнике.

Изучение физической химии является одной из важнейших составляющих образовательного процесса в энергетическом университете, т.к. именно этот предмет создает основы для глубокого и качественного понимания студентами многих прикладных дисциплин.